

「国際リニアコライダー(ILC)計画に関する規制・リスク等調査分析」

報告書

平成30年2月

株式会社 野村総合研究所

目次

I. 業務の概要	4
1. 委託調査・分析業務の背景	4
2. 本調査の内容	4
1) ILC の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	4
2) ILC の建設・運用に係るリスクに関する調査分析	4
3) ILC の建設・運用に係るリスクのマネジメントに関する調査分析	4
3. 調査実施に当たり留意された事項	5
4. 検討委員会の設置	5
5. 調査の結果サマリー	6
6. 調査に協力頂いた方々	9
1) CERN 関連調査にてご協力頂いた方	9
2) EUROPEAN XFEL 関連調査にてご協力頂いた方	9
3) LNGS (Laboratori Nazionali del GranSasso) 関連調査にてご協力頂いた方	9
4) SPrng-8 関連調査にてご協力いただいた方	10
5) KEK-B 関連調査にてご協力いただいた方	10
6) 青函トンネル関連調査にてご協力頂いた方	10
7) スーパーカミオカンデ関連調査にてご協力頂いた方	10
II. ILC の概要と関連法規制の整理	11
1. ILC とその施設の概要及び建設スケジュール	11
2. ILC の推進体制	16
3. ILC の建設と主な関連法の整理	18
1) 中央キャンパスや居住地区に関する主な規制の整理	19
2) ILC 及び ILC 加速器実験サイトに関する主な規制の整理	29
4. ILC の建設と環境アセスメント	32
5. ILC の建設と地震	34
6. ILC の建設とその他自然災害・防災	36
III. 国内外の大型プロジェクトに関する調査	38
1. ILC の建設・運用に係るリスクの仮説	38
2. 対象プロジェクトの選定	39
3. 対象プロジェクトの調査から整理されたリスクとその対応策	41
1) LHC (Large Hadron Collider)	41
2) EUROPEAN XFEL	43
3) Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS)	45
4) SPrng-8	47
5) KEK-B	51

6) 東京湾アクアライン	53
7) 青函トンネル	55
8) スーパーカミオカンデ	57
4.その他で対象としたプロジェクト	59
高山祭りミュージアム	59
IV. ILC の建設・運用に係るリスクの整理とマネジメント	60
1.地下空洞施設	60
1) 加速器トンネル	67
2) 衝突実験ホール	68
3) アクセストンネル・立坑	69
4) 放射線防護	70
5) 地震	71
6) その他自然災害・防災	72
7) 環境	74
2.地上施設	77
3.管理・運営体制	80
4.資金調達	84
5.今後検討が必要な事項	86
V. 大型プロジェクト事例の整理	87
1.LHC (Large Hadron Collider) 計画	87
1) LHC 計画の概要	87
2) LHC の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	99
3) LHC の建設・運用に係るリスクに関する調査分析	112
4) LHC の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	120
2.EUROPEAN XFEL (European XFEL GmbH、DESY 研究所) 事例分析	149
1) EUROPEAN XFEL の概要	149
2) DESY の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	161
3) DESY の建設・運用に係るリスクに関する調査分析	172
4) DESY の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	176
3.Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS)事例分析	180
1) Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS) の概要	180
2) LNGS の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	182
3) LNGS の建設・運用に係るリスクに関する調査分析	187
4) LNGS の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	190
4.SPring-8 事例分析	192
1) SPring-8 の概要	192
2) SPring-8 の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	196
3) SPring-8 の建設・運用に係るリスクに関する調査分析	202
4) SPring-8 の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	209
5.KEK-B 事例分析	213

1) KEK-B の概要	213
2) KEK-B の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	215
3) KEK-B の建設・運用に係るリスクに関する調査分析	219
4) KEK-B の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	222
6.東京湾アクアライン事例分析	224
1) 東京湾アクアラインの概要	224
2) 東京湾アクアラインの建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	229
3) 東京湾アクアラインの建設・運用に係るリスクに関する調査分析	231
4) 東京湾アクアラインの建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	233
7.青函トンネル事例分析	235
1) 青函トンネルの概要	235
2) 青函トンネルの建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	239
3) 青函トンネルの建設・運用に係るリスクに関する調査分析	241
4) 青函トンネルの建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	250
8.スーパーカミオカンデの概要	252
1) スーパーカミオカンデの概要	252
2) スーパーカミオカンデの建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析	257
3) スーパーカミオカンデの建設・運用に係るリスクに関する調査分析	258
4) スーパーカミオカンデの建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析	261
9.その他で対象としたプロジェクト	262
高山祭りミュージアム	262

I. 業務の概要

1. 委託調査・分析業務の背景

次世大型加速器として構想されている国際リニアコライダー(ILC)計画(以下、「ILC 計画」という。)は、新粒子の発見やヒッグス粒子等の詳細解明等が期待されているが、一方で建設コストが1兆円を超えることや全長約 30km に及ぶ巨大施設であるため課題も指摘されている。

そのような中で、日本学術会議の「国際リニアコライダー計画に関する所見(平成25年9月)」を受けて、文部科学省では、ILCに関する有識者会議を設置し、諸課題について検証を進めている。

このため、平成 29 年度においては、仮に国内に ILC 計画を建設・運用する際に検討すべき法的な規制やそれ以外に法令の観点から当然に必要な事柄、過去の事例を参照しつつ想定される様々なリスク及びそのマネジメントについて調査分析を実施する。

2. 本調査の内容

1) ILC の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

調査対象プロジェクトの法的規制やその課題・解決策を整理し、ILC の建設・運用の際に関係する法的規制等について整理することを目標とする。

巨大施設である ILC を国内に建設し運用する場合は、その用地の取得、地下トンネルの建設、放射線管理、自然環境保護、建設資材を搬入するための経路の確保など、ILC 本体のみならず周辺環境も含めた関連する法的規制等を掌握し、検討する必要がある。

このため、事例調査を通じ、その際に課題となった法的規制等に係る事項を調査し、その課題にどのように取り組み、解決したかを調査するとともに、ILC の建設・運用の際に関係する法的規制等について調査分析し、その内容をとりまとめる。

2) ILC の建設・運用に係るリスクに関する調査分析

法的規制に伴い想定されるリスクや建設・土木技術から見た実現可能性や地理的・地質的な要因による影響等の観点で調査対象プロジェクトを整理し、ILC 計画の際に考えられるリスクについて整理することを目標とする。

(1)の法的規制等に伴い想定されるリスクのほか、建築・土木技術から見た実現可能性や地理的・地質的な要因による影響等の観点も含め、これまでの事例を調査し、リスクとその解決方法について調査するとともに、ILC 計画について考えられるリスクについて調査分析する。

3) ILC の建設・運用に係るリスクのマネジメントに関する調査分析

調査対象プロジェクトに関して、(2)で挙げられた諸課題についてどのようにリスクマネジメントをしながら建設し、運用されているのかそのマネジメント体制を整理し、ILC 計画に参考となる点について整理することを目標とする。

ILC の建設は、「THE INTERNATIONAL LINER COLLIDER Technical Design Report 2013」(TDR、技術設計報告書)において準備期間 4 年、建設期間9年とされているが、(2)で挙げられた諸課題についてどのようにリスクマネジメントしながら建設し、また完成後の実験段階において運用されるのが適切か、そのマネジメント方法について調査分析する。

3.調査実施に当たり留意された事項

- ・ 想定される ILC 計画の前提については、「技術設計報告書 (INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER Technical Design Report 2013)、以下 TDR」、「プロジェクト実施計画 (Revised ILC Project Implementation Planning Revision C) (2015 年 7 月 リニアコライダー国際推進委員会)、以下「PIP」、国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議にかかる資料等を参考としている。
- ・ 上記においては、建設地点が特定されておらず、候補地における詳細な地質調査が実施されていない状況であり、本調査では、割れ目や不連続面が比較的少ない硬岩の花崗岩体に地下空間を構築することを前提とした。
- ・ このため、建設地点が特定され、現地において地形や地質調査が実施されて分かる特殊な地質 (割れ目や不連続面や貫入岩、地下水状況など) や環境条件、さらに、地域特有の地殻変動に伴う地震特性や地圧変化などは、考慮されていない。

4.検討委員会の設置

本調査では、以下の有識者による検討委員会を設置し、4 回にわたり開催した。

表 1 「国際リニアコライダー (ILC) 計画に関する規制・リスク等調査分析検討委員会」委員 (五十音順)

	氏名 (敬称略)	所属・役職名
委員	大熊 春夫	公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI/SPring-8) 光源基盤部門 特別嘱託
委員	北村 倫夫	北海道大学大学院 国際広報メディア・観光学院 メディア・コミュニケーション研究院 教授
委員	倉持 秀明	パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 インフラエンジニアリング部 山岳トンネル室
委員	小磯 晴代	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 教授
委員	武内 邦文	株式会社大林組 土木本部 営業推進第二部長
委員長	近久 博志	株式会社地盤システム研究所 所長
委員	徳宿 克夫	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 所長
委員	福田 和寛	清水建設株式会社 土木技術本部 地下空間統括部 担当部長
委員	三谷 泰浩	九州大学大学院 教授 / 工学研究院 附属アジア防災研究センター 地盤学講座
委員	渡邊 公一郎	九州大学 工学研究院 教授

5.調査の結果サマリー

- ・いくつかの既存の大型プロジェクトを対象に実施した調査を通じて、ILC 計画に関係すると考えられる規制、リスク、予算・工期への影響が懸念される事項およびその対応策を検討した。
- ・その結果、世界で初めての施設となる ILC が有する固有性・特殊性から、それぞれのプロジェクトが有する共通項や特殊項を考慮して、関連する法規制を絞り込み、遭遇するリスクの検討が必要であることが判明した。さらに、ILC 計画のような施設は、同種の工事との共通項から見出されるリスクだけでなく、その施設が有する特殊性から生じるリスクの比重が高くなることになる可能性があることが分かった。
- ・次に、抽出された規制、リスク、予算・工期への影響が懸念される事項およびその対応策を示す。

■地下空洞施設における主な規制、リスク、予算・工期への影響が懸念される事項およびその対応策

【地下空間の調査・設計・建設】

① 地下空間全般

- ・ 広域に渡った建設工事であるが、大部分が地下空洞になるため、地上施設に比べて、地形改変が少なく、周辺環境への影響は少ない。しかしながら、環境影響評価(※)の結果によっては、猛禽類の生息などへの影響などを低減させるために、しばしば工事が中断される可能性が残されている。(※後述のとおり、本施設においては、環境影響評価法の適用範囲が限定される可能性があるが、独自に環境アセスメントの実施や自主規制を設けて、社会への説明責任を果たすことが重要となる)
- ・ 予期せぬ断層破碎帯の出現や大量湧水、異常出水による掘削工事への影響が挙げられる。これらの掘削作業中に遭遇する事項については、事前調査でも十分に明らかにされることが難しい。このため、掘削作業への影響を少ない程度の前方地質調査手法を組み込むと共に、変状現象に遭遇したときには迅速な対応が取れるように、可能な範囲で事前準備を整えておくことが重要となる。
- ・ 大量の掘削残土が発生することになるため、できる限り早い段階に有効利用を含めた処理方法や処理場所の確保をしておく必要がある。特に、一部区間の掘削残土に重金属等が含まれる可能性があるため、その処理方法等についても検討し、関連機関との事前協議を進めておく必要がある。
- ・ 建設地点全域にわたって、掘削深度や地上施設の状況に応じた地上権や区分地上権を設定して、土地の所有者との具体的な協議が必要となる。
- ・ 地下空間の建設によって、周辺の地下水を集めることになり、地質条件によっては、広範囲に渡って地下水が低下するような現象が生じる可能性がある。このため、工事の前後(場合によっては、途中段階も)、植生や生態系や小川・沢の水量などを入念に調査して、工事の影響を把握する必要がある。さらに、工事の影響が認められる場合は、速やかに対応策が実施できるような体制を整えておく必要がある。
- ・ ILC の運用時においては、見学者を含めた多くの人々が入場することが想定されることから、地上構造物に適用されているような既存の法規制(建築基準法など)の適用あるいは自主規制を含む新たな規制の整備が必要になる可能性がある。

② 衝突実験ホール

- ・ 現時点では、ILC の構造仕様や建設サイトが確定されていないが、地下空間の建築地点における地形・地質・環境の調査や試験を実施して、その結果に基づいて基本・実施設計や詳細設計を行う必要がある。特に、衝突実験ホールでは、岩盤の実質部や破碎帯や貫入岩の有無だけでなく、岩盤の割れ目の頻度・連続性、その性状等を把握し、掘削後だけでなく地震時の空洞の安定性についても検討する必要がある。

③ アクセストンネル・立坑

- ・ 坑口部は、地表部分に造ることになるため、工事中や運用中に周辺環境に与える影響は大きい。そのため、工事対象となる坑口周辺や掘削残土の捨て場等において、事前の環境調査を適切に行い、法面崩壊や土砂災害の対策を行う必要がある。
- ・ 地上施設が計画されている場所に関しては、活用の方法や期間を考慮して、借地・買収などの方法を検討することになる。

【放射線防護】

- ・ 放射線障害防止法といった関連法規制を遵守し、放射線管理区域の設定等の諸対応を行うことが求められる。放射線障害防止法で規定されていない事項についても、放射線に関連するリスクイベントの顕在化が地域社会に与える影響は大きいため、独自の規制や規定を設定しておく必要がある。
- ・ 放射化した地下水が、広域に移動することがないように、適切な対応策を実施し、その効果を長期間に渡って継続的にモニタリングを行う必要がある。
- ・ 現時点の ILC 計画は、実験終了時の施設の取扱いについての検討が深まっていないが、今後、ビームダンプ装置をはじめとする実験装置や空洞について、実験終了後も含めた長期にわたる維持管理方法の検討が極めて重要になる。

【地震】

- ・ 地下空洞の耐震設計に関して、明確に規定されている法・規制等は存在していない。しかし、常時一般による入退場がなされる施設となるため、地上建築構造物に適用されている建設基準法等に即した耐震設計が求められる可能性がある。また、適用されない場合においても、管轄自治体との協議結果によっては、同等の基準類が適用される可能性がある。
- ・ 特に、衝突実験ホールとその周辺は、掘削断面が大規模になるだけでなく、様々な断面の空洞やトンネルが錯綜することになる。また、一般見学者の出入りだけでなく、大型のディテクタなどの実験装置が設置されることになるために、入念な耐震設計が必要とされることになる。

【その他自然災害や防災】

- ・ ILC施設は、消防法の適用を受けることが想定され、地域の消防や自治体との連携が不可欠なと考えられる。
- ・ 消防法等の関連法・規制に加え、自治体によっては、地域防災に関わる条例がその対象となる。ILC 計画では、協定等に基づいた国際機関が設置されることになっているため、さまざまな参加国の研究者や技術者が当該施設で活動することに留意して、普遍性をもった防災体制の確立が求められる。また、地域社会と一体となった防災体制の導入が必要となる。つまり、防災に関しては、国際機関として独立した取り組みではなく、地域社会との連携が不可欠になるため、地域社会と密に連携した、継続的な防災体制の構築と地域社会との情報共有やコミュニケーションが重要になる。

【環境】

- ・ ILC 実験施設は、大部分が地下空間になるため、地上施設に比べて、環境影響評価法に規定されている環境アセスメントの適用範囲が狭くなる可能性がある。他方で、ILC 施設は、建設や運用面で環境に与え

る影響が大きく、また、近年の管轄自治体や地域住民の環境に対する関心が高まっていることから、独自に環境アセスメントの実施や自主規制を設けて、社会への説明責任を果たすことが重要となる。

■地上施設における主な規制, リスク, 予算・工期への影響が懸念される事項およびその対応策

- 地上施設については、特に電力や水、熱の供給、廃棄物や下水の処理等、インフラに関わる設備を設置する場合には、当該規制に準じた取り組みが必要となる。
- ILC 計画では、ヘリウム供給に係る冷凍設備の設置、実験のための大電力の供給など、一般の都市開発とは異なるインフラの整備が必要となる。そして、受変電のみならず発電までも行う場合、電気事業法の適用を受けることになる。電気設備の設置については、土木や建設工事の全体工程を踏まえつつ適切に実施されなければならない。
- ILC 計画では、他の大型プロジェクトに見られるように、当該地域にこれまでに無かったような大規模な実験設備やビルが出現することになる。このため、周辺の景観との調和を図るだけでなく、地域住民等とのコンセンサス作りが必要となる。このとき、テーマによっては合意形成に多くの時間が必要となるだけでなく、その対策に係る予算措置が必要となる場合もある。
- 大規模な施設建設に伴う数々の工事車両の通行が、地域住民の日常生活に及ぼす影響は大きく、留意すべき事項となる。このため、周辺住民の建設工事への理解を得るだけでなく、発生するいろいろな問題を初期段階で解消できるように、関連団体や地域住民と密なコミュニケーションができる体制や発生した課題を早期に解消できる組織を作る必要がある。
- 中央キャンパス等の地上施設においては、土地の取得は建設予定地所在の地方自治体によって行われる予定になっており、地方自治体による土地提供プロセスに支障が生じない限り、大きな影響は無いと考えられる。

6.調査に協力頂いた方々

1) CERN 関連調査にてご協力頂いた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
Lyn Evans	ex-LHC project Leader, and LCC Director
Anders Unnervik	Industry, Procurement & Knowledge Transfer Department, Procurement and Industrial Services Group, CERN
John A. Osborne	Site Management and Buildings Department, Site Engineering, Future Accelerator Studies, CERN
Doris Forked-Wirth	Occupational Health & Safety & Environmental Protection Unit, Radiation Protection Group, CERN
Angela Goehring-crinon	Occupational Health & Safety & Environmental Protection Unit, Safety Engineering and Environmental protection, CERN
Enrico Cennini	Occupational Health & Safety & Environmental Protection Unit, Safety Engineering and Environmental protection, CERN
Stefan Roesler	Occupational Health & Safety & Environmental Protection Unit, Radiation Protection Group, CERN
Katy Foraz	Engineering Department, Alignment, Coordination & Engineering Group, CERN
Isabel Bejar Alonso	Accelerator and Technology Sector, HL-LHC Technical Coordinator, CERN
山本 明	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 名誉教授・研究員
甲木 夢弥	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 研究協力部国際企画課

2) EUROPEAN XFEL 関連調査にてご協力頂いた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
Hans Weise	Leading Scientist, DESY PROJECT Leader EUROPEAN XFEL Deutsches Elektronen-Synchrotron(DESY)
Riko Wichmann	Administration XFEL Accelerator Operation, MXL Deutsches Elektronen-Synchrotron(DESY)

3) LNGS (Laboratori Nazionali del GranSasso) 関連調査にてご協力頂いた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
Roberto Saban	Technical Coordinator of the Large Infrastructures of the INFN

4) SPrng-8 関連調査にてご協力いただいた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
大熊 春夫	公益財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI/SPrng-8) 光源基盤部門 特別嘱託

5) KEK-B 関連調査にてご協力いただいた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
神谷 幸秀	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 理事
小磯 晴代	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 教授託

6) 青函トンネル関連調査にてご協力頂いた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
深沢 成年	鉄道建設・運輸施設整備支援機構 新幹線部 部長

7) スーパーカミオカンデ関連調査にてご協力頂いた方

氏名(敬称略)	所属・役職名
山地 宏志	三井住友建設株式会社 技術研究開発本部 技術開発センター

II. ILC の概要と関連法規制の整理

1. ILC とその施設の概要及び建設スケジュール

2004年夏、世界の高エネルギー物理学研究者・加速器研究者は、超伝導技術に基づいた「リニアコライダー（衝突型線形加速器）」を国際協力で建設することについて合意した。これは「ILC (International Linear Collider) 計画」と呼ばれている。

ILC 計画は、現在欧州の CERN (欧州合同原子核共同機関) で稼動している LHC (Large Hadron Collider: 大型ハドロン衝突型加速器) の次に実現すべき有力な大型基幹計画として位置づけられ、全長約 30km の (および将来の拡張性として 50km までを見込む) 直線状の加速器をつくり、現在達成しうる最高のエネルギー領域 (TeV: 1兆電子ボルトまでの) で、電子と陽電子の衝突実験の実現を目指すものである。

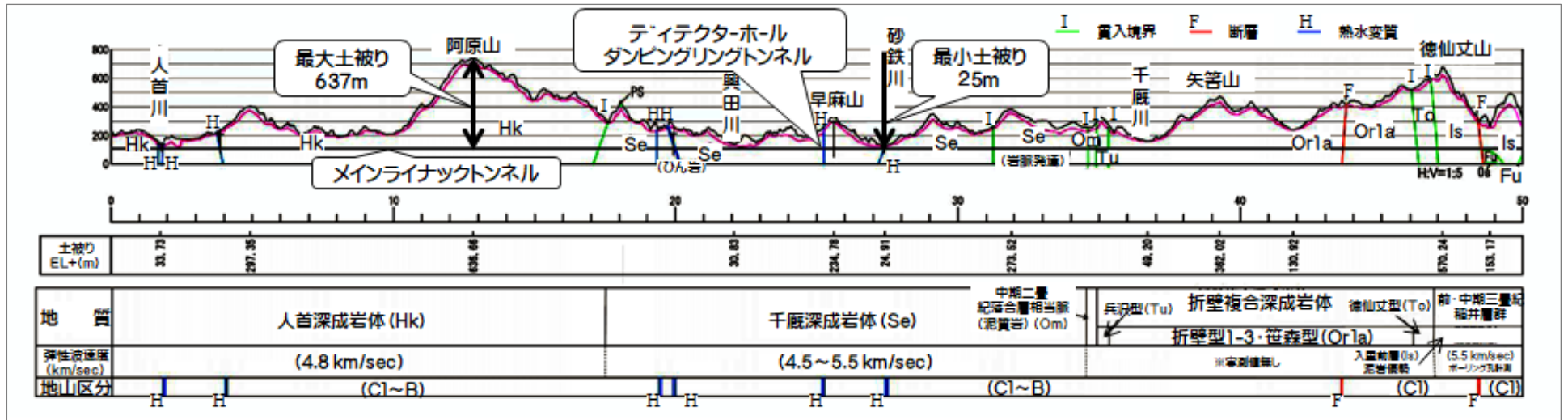
ILC で設置される構造物及び道路等の配置については、以下のように考えられている。

図 1 ILC で設置される構造物及び道路等の配置 (山岳地に設置される場合のイメージ)



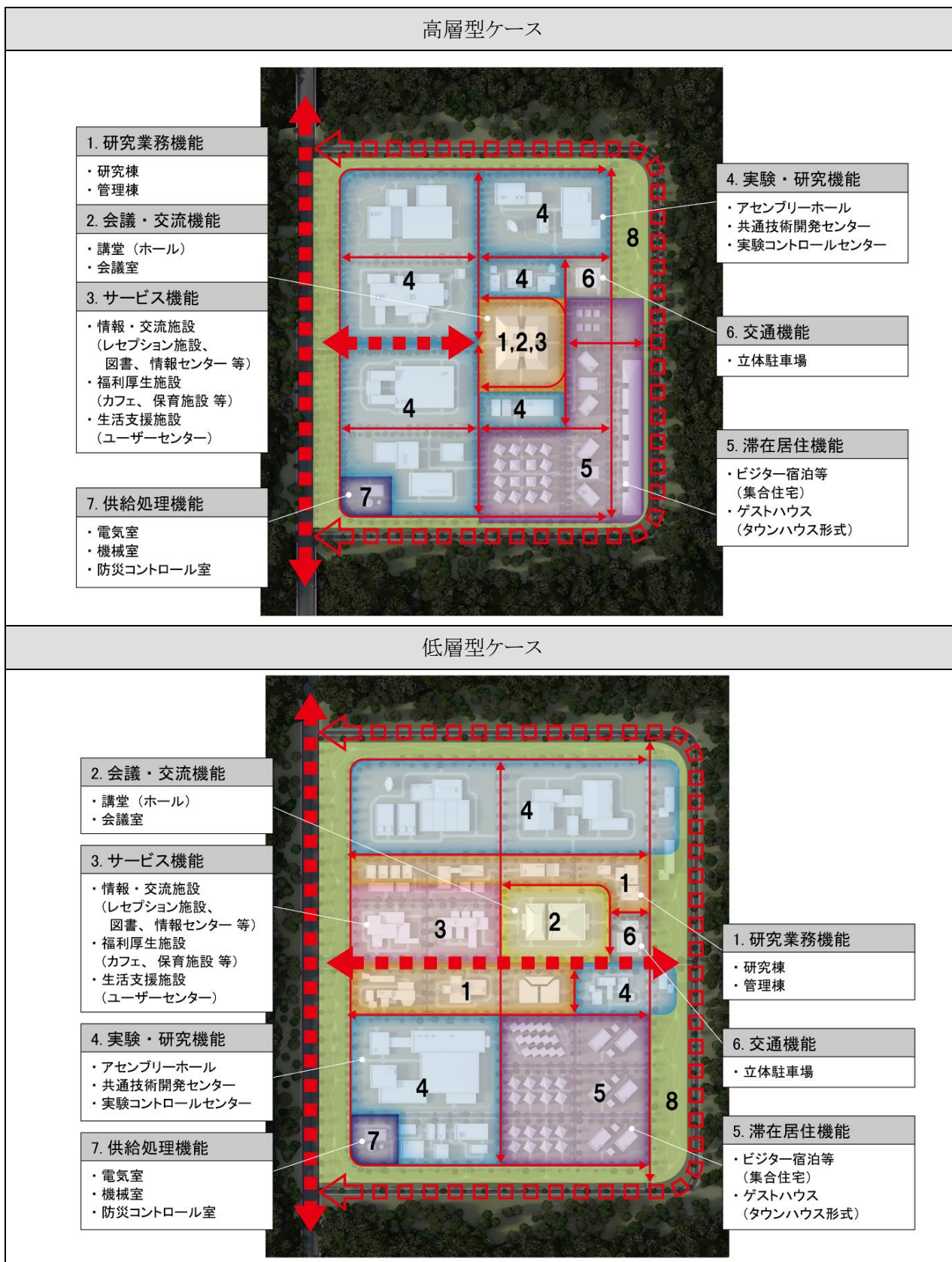
出典 高エネルギー加速器研究機構

図 2 山岳地に設置される場合の標高及び地盤のイメージ



出典 宮原 正信、山本 明/高エネルギー加速器研究機構他(2016)、地下空間を利用した国際リニアコライダー研究施設を日本国内に建設予定、トンネルと地下

図 3 中央研究拠点・サテライトキャンパスの施設配置計画図



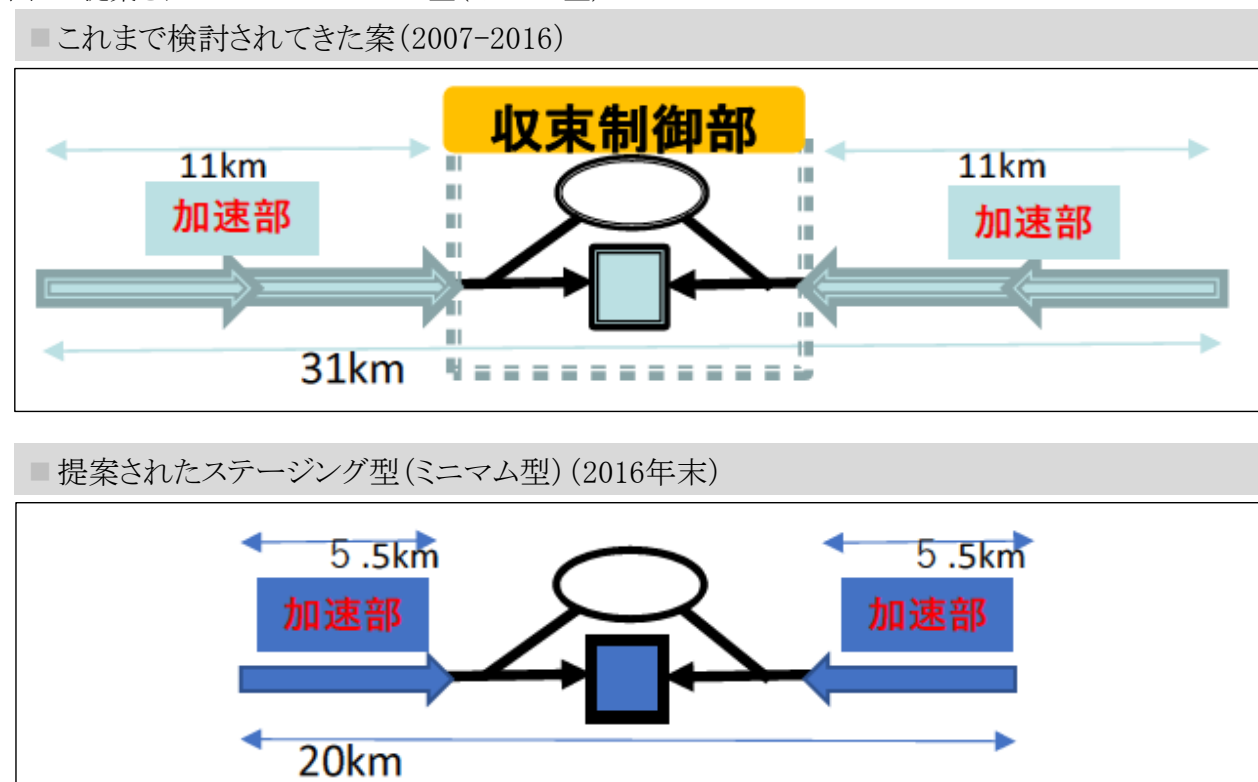
出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント（※同報告書では、岩手県、福岡県、佐賀県を建設が想定される場所として調査を実施されていることから、当該地特有の規制も存在することに留意。以下同。）

ILC 計画では、ILC の設置や運営等を司る研究関連施設のみならず、そこに従事する研究員等の生活のための基盤(生活環境基盤)の設置も併せて検討されている。

なお、2013 年に発行された Technical Design Report:TDR では、トンネルの全長が 31km、衝突エネルギーで 500GeV となる主線形加速器の設置が検討されてきた。

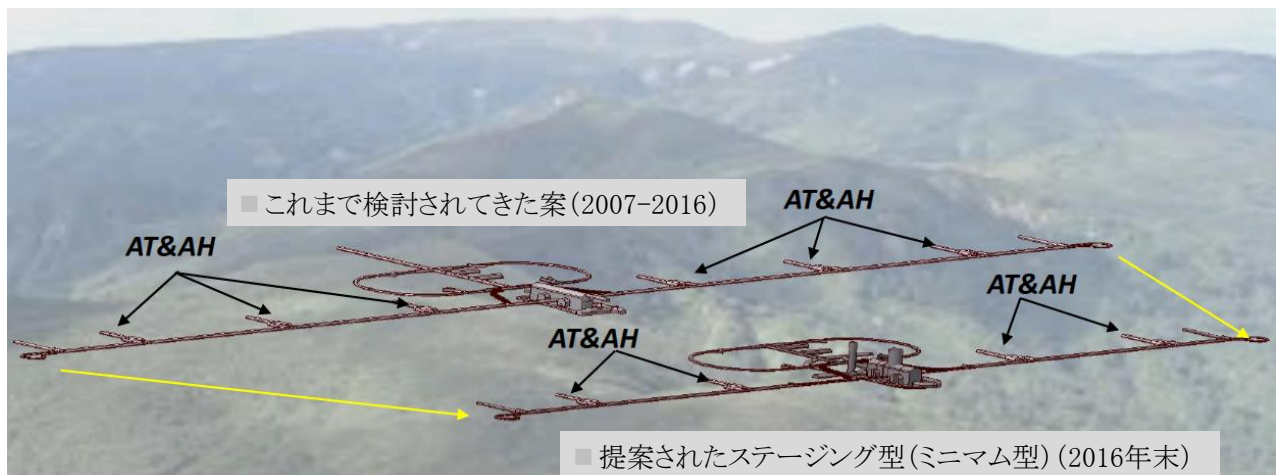
2016 年に開催されたリニアコライダーワークショップ 2016:LCWS2016 では、TDR をベースとして、いくつかの仕様変更が検討された結果として、トンネルの全長が 20.5km、衝突エネルギーで 250GeV とする“ILC ステージング型(ミニマム型)”が提示されている。

図 4 提案された“ILC ステージング型(ミニマム型)”



出典 リニアコライダーワークショップ資料3/文部科学省から NRI 作成

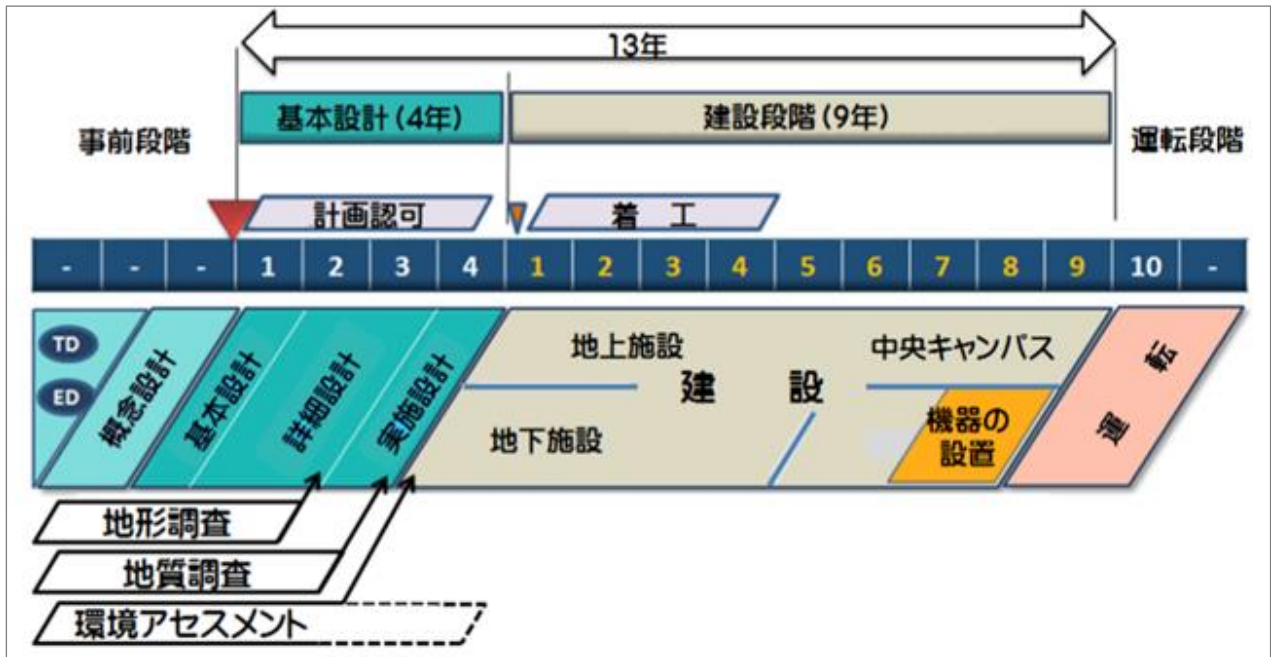
図 5 提案された“ILC ステージング型(ミニマム型)”のイメージ



出典 宮原 正信/高エネルギー加速器研究機構から NRI 作成

ILC の建設スケジュールは次のように想定されている。つまり、現在、事前設計段階において、4 年間の設計期間の後、9 年間程度の建設に入ることが予定されている。

図 6 ILC の建設スケジュール 基本計画から最終設計までの段階



出典 宮原 正信、山本 明/高エネルギー加速器研究機構他(2016)、地下空間を利用した国際リニアコライダー研究施設を日本国内に建設予定、トンネルと地下

2. ILC の推進体制

国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議体制及びマネジメントの在り方の検証に関する報告書/平成 29 年/国際リニアコライダー (ILC) に関する有識者会議では、次の整理がなされている。

【全体スケジュール】

各国政府了解の下、研究機関間の合意 (MOU※等) に基づき多国籍の①プレ研究所 (Pre-Lab) を設立し、最終的な工学設計や参加国間の役割分担等に係る検討を4年間実施。その後、条約に基づく国際研究機関である②ILC研究所 (ILCLaboratory) に移行し、9 年程度の建設期間※を経て、③国際共同実験グループによる実験を開始し、20 年以上運転する。

※MOU: Memorandum of Understanding、覚書

※PIPでは、建設期間を約8年間と記述しているが、正確には、国際設計チーム (Global Design Effort: GDE) が作成した技術設計報告書 (Technical Design Report: TDR) において、トンネルへの組込み・調整を含む建設期間を9年間、その後の試運転を1年間行い、物理実験データ取得開始は11年目からを想定している。

①プレ研究所 (Pre-Lab)

仮に ILC のホスト国を日本が担う場合、KEK - ILC アクションプランにおいては、ILC 準備組織であるプレ研究所は、研究機関間の合意 (MOU 等) に基づく多国籍研究所として設立され、その本部を KEK に置き、最終的な工学設計や参加国間の役割分担等に係る検討を4年間実施することが想定されている。

さらに、同アクションプランにおいては、プレ研究所は200人規模で、そのうち20～40%は外国からの貢献が期待されており、超伝導加速空洞の量産技術の実証及び計画統括、品質管理、性能評価等の機能強化のための人材を養成することが必要とされている。

②ILC研究所 (ILCLaboratory)

PIPにおいては、ILC研究所に係る体制及びマネジメントについて、以下のとおり想定されている。

【法的位置づけ】

- ・国レベルで条約を締結し、付加価値税や関税が課せられない等の特権、ホスト国の明確な権利と義務、廃止措置までの手順と責任等を明記する。
- ・条約に基づき、参加国は契約期間を建設9年程度、運転20年以上とし、10年間は脱退を禁止する。11年目以降に脱退する場合も2年前の通告を必要とする。

【トップ (執行部) マネジメント】

- ・理事会 (Council) は、最終意思決定機関であり、参加国の代表者は各2名で多数決が基本であるが、財務案件には、貢献規模等に応じた投票権が設定される。また、委員には、所属政府から適時の判断を可能とする十分な地位が付与される。
- ・所長 (Director General) は、理事会によって公募・選考され、重要な権限を付託されるとともに組織全体の経営責任を有する。
- ・経営陣 (Directorate) は、理事会によって選考され、所長の下で財務と管理を執行する。

【プロジェクトマネジメント】

- ・中央プロジェクトチーム (Central Project Team) は、サイトを踏まえた設備配置を含む設計に責任を有し、参加国により現物抛出 (In Kind) される機器の仕様を決定する。
- ・参加国は、割り当てられた現物抛出 (In Kind) による貢献に係るコスト全体及び合意された納入スケジュールに責任を有する。

【加速器の製造体制】

- ・現物抛出 (In Kind) による国際協力による分担が想定される加速器システム・要素の製造は、各地域においてハブ研究所 (Hub Laboratory) が統括し、国際競争入札による企業との契約に基づき実施する。
- ・国際競争入札に応募して落札した企業は、契約において示された基本構造仕様及び図面に基づく製造 (Build-to-Print) に責任を有し、工業生産における通常の完成検査基準に合格することを納入条件とする。
- ・ハブ研究所 (または研究共同体) は、総合性能試験を実施し、電場勾配や共振特性等の主要な性能達成に責任を持つ。
- ・ハブ研究所が一貫した試作及び技術検証能力を有し、基盤となる製造技術実証を行った上で企業への技術移転及び情報提供を行い、企業のリスクを低減することが重要である。
- ・ILC研究所は、ハブ研究所間リンクの要として協力調整を行い、国際調達全体を統括する。

【経費分担】

- ・土地確保、トンネルを含む土木工事及びインフラ整備はホスト国の負担を基本とし、加速器及び測定器は参加国の現物拠出(In Kind) 貢献を基本とする。
- ・予想外の事象に対応するための予備費(Contingency: 全プロジェクトコストの10%程度)並びに実験ホール等の現物拠出(In Kind) では分担できない部分及び機関の独立運営等のための共通基金(Common Fund) は、ILC研究所の運営(Management) が参加国に対して資金拠出(In Cash)による分担を要求し、管理する。
- ・超伝導高周波加速技術のような高度技術でも相応の貢献をする場合、ホスト国の全貢献は50%程度になる。
- ・運転経費については、分担方法として以下の3つの選択肢及びその組合せが検討されている。
 - i) 参加国の拠出に比例
 - ii) ホスト国が提供する土木建設費、土地購入費、インフラ整備等を除く参加国の拠出に比例
 - iii) 各国の博士号を持つ実験者数に比例

③国際共同実験グループ

PIPにおいては、ILCのために設計された測定器であるILD(International Large Detector)とSiD(Silicon Detector)は2つの国際チームによって検討が進展しており、ILC計画が承認されれば実験グループへと発展することが想定されている。

既存の加速器研究所では、実験の評価、監督を目的とするPAC(Program Advisory Committee)等の委員会を組織することが一般的に実践されており、同様にILC研究所においても、実験の提案を評価し、その進捗状況を監督する仕組みを運営することが想定されている。

また、実験グループへの参加は、LHC※の実験と同じく全世界のコミュニティに開放されており、加速器建設に参加しない国からの参加も可能とされている。

※LHC: Large Hadron Collider、CERNの大型ハドロン衝突型加速器
ILCの測定器グループは自主的に運営を行うこととされており、財政的支援は基本的に各参加メンバーの資金提供機関によって行われ、ILC研究所が直接貢献することは期待されていない(ただし、2つの測定器の共通インフラと組立・統合作業を支援するための人員提供を除く)。

3.ILC の建設と主な関連法の整理

ILC で対象とされる建設は、次のように整理することが出来る。

表 2 ILC で対象とされる建設

建設の対象		概要
国際研究 拠点	①ILC (国際リニアコライダー)	・世界最長の線形加速器実験施設(地下)
	②ILC 加速器実験サイト (計測実験拠点)	・ILC の計測実験の主要施設(実験ホール、測定器<ILD、SiD>、オペレーションセンター等)の集積 ・ILC の素粒子衝突点付近の地上部に構築
	③ILC 中央キャンパス (中核研究拠点)	・ILC 国際研究所(仮称)のHQの所在 ・研究業務施設、実験・研究施設、会議・交流施設、滞在・居住施設、サービス施設、供給処理施設等の集積 ・短期滞在の研究者等の最低限の滞在・居住、生活支援の機能を備える
④キャンパス外居住地区(複数)		・ILC 関連研究者・職員、家族向けの住宅、商業・生活サービス施設等がコンパクトに集積した居住空間の提供
⑤拠点間の道路		・ILC 各拠点を結び、物流を支える道路

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構から NRI 作成

1)中央キャンパスや居住地区に関する主な規制の整理

主に表2の③ILC 中央キャンパスや④キャンパス外居住地区(複数)、⑤拠点間の道路に関連する、土地利用に関する主な規制は次のように整理することが出来る。

表 3 土地利用に関する主な規制

地域	法律	対象	内容
都市地域	都市計画法	市街化区域	開発面積 1,000m 以上の開発行為は許可が必要
		市街化調整区域	面積に関係なく全ての開発行為は不可(例外あり)
		風致地区	建築等の行為について、10ha 以上の風致地区は都道府県の条例、10ha 未満の風致地区は市町村の条例で必要な規制を加える
農林地域	農地法	農地・採草放牧地	農地の転用は 4ha 以下の場合、県知事、4ha 超の場合は農林水産大臣の許可が必要
	農業振興地域の整備に関する法律	農業振興地域	農用地区域(農振青地)内における開発行為は知事の許可が必要(適用除外:国又は地方公共団体の行為、公益性が高い等) 農業地域=農振白地
	森林法	国有林	
		民有林	1ha 超の形質変更、道路の面積が 1ha 超又は有効幅員 3m 超のもの(1ha 以下は市町村へ届け出)(適用除外:国又は地方公共団体の行為、公益性が高い等)
保安林		保安林の機能を損なわない範囲で以下の行為に許可・届出が必要 立木の伐採、間伐・択伐、土地の形質の変更等	
自然公園	自然公園法	国立及国定公園	普通地域の場合、以下の行為は届出が、特別地域は許可が必要 ①工作物②河川等の水位増減③広告物④埋立⑤鉱物採取⑥土地形状変更⑦海底形状変更(特別地域は他に規制あり)
		都道府県立公園	上記の⑦以外
環境保全	自然環境保全法	自然環境保全地域	自然公園法に類似
		原生自然環境保全地域	禁止行為①建築・工作物②木竹の植栽③動物を放つ
	鳥獣保護及狩猟に関する法律	鳥獣特別保護区	特別保護区内、次の行為は環境大臣又は知事の許可が必要 ①建築、工作物②埋立③木竹伐採
文化財	文化財保護法	史跡・名勝・天然記念物	現状を変更し、又はその保存に影響を及ぼす行為は許可が必要
		重要文化的景観	上記に同じ
		伝統的建造物群保存地区	建築物の外観の変更に規制

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

表 4 土地利用に関する主な規制(災害防止に関わるもの)

区分	法律	対象	内容
公共物保全	河川法	河川区域	
災害防止	砂防法	砂防指定地区	以下の行為に許可が必要 ①新築・除却②立竹木の採取・運搬③土地の現状変更④土石鉱物採取・投機⑤放牧⑥火入れ⑦治水上砂防の支障がある行為
	地すべり等防止法	地すべり防止地区	以下の行為に許可が必要 ①地下水の変化②地表水の変化③のり切又は切土④防止施設以外の新築・改良⑤その他地すべりに関連する行為
	宅地造成等規制法	宅地造成工事規制区域	
	宅地造成工事規制区域災害の防止に関する法律	急傾斜地崩壊危険区域	以下の行為に許可が必要 ①水の浸透の助長②防止施設以外の新築・改造③のり切、切土、堀さく、盛土④伐採⑤木竹搬出⑥土石採取・集積⑦崩壊・助長する行

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

特に、建築物、道路に係る具体的な基準については、以下のような整理がなされている。

表 5 建蔽率及び容積率

関係法令	項目	内容
都市計画法	白地地域(用途地域未指定地区)	(岩手県、福岡県、佐賀県等) ○建蔽率:60~70%、○容積率:200%
	第二種住居地域	(KEK の用途地域) ○建蔽率:60%、○容積率:200%
	地区計画	(研究教育施設第一地区地区計画) = KEK の地区計画 ○建蔽率:30% ※ただし、敷地面積 3,000 m ² 以内で緑化率目標(30%)以上であれば、40% ○容積率:100% ※ただし、敷地面積 3,000 m ² 以内で緑化率目標(30%)以上であれば、120%、高さの最高限度:20m
※参考	CERN	○建蔽率:25.8% ※Meyrin 地区中心エリアの建物面積を 1:1,000 の航空写真を実測し算出

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

表 6 都市内道路の配置形態及び延長密度

関係法令	項目	内容
幹線道路 ・補助幹線 道路	住宅市街地	<ul style="list-style-type: none"> ・幹線道路を 1km 間隔の格子状に配置 ・補助幹線道路を同程度の延長密度の幹線道路で囲まれた地区に配置 ・両者合わせた延長密度は 4km/km² 必要 ・面積率は 8% 程度となる。
	商業中心の 市街地	<ul style="list-style-type: none"> ・5～7 km/km² 必要
	工業中心の 市街地	<ul style="list-style-type: none"> ・1～2 km/km² 必要
	市街地平均	<ul style="list-style-type: none"> ・3.5 km/km² 必要
区画道路		<ul style="list-style-type: none"> ・住宅市街地で 20km/km² 必要 ・幅員は原則として 6m 確保 ・一般的住宅市街地での区画道路の面積率は 12～14% 必要 ・幹線道路・補助幹線道路合わせると概ね 20% となる。
※参考 CERN		<ul style="list-style-type: none"> ・道路面積率: 18.7% ※参考: 駐車場面積率 10.5%

※上記とりまとめは、道路については、開発区域の規模や形状、地形や地盤の性質のほか建築物の用途や敷地規模といった条件を踏まえ、道路が果たすべき機能別(幹線道路、地区幹線道路、補助幹線道路、区画街路等)に配置を検討する必要があるが、配置条件の設定が困難であるため、求められる道路の計画標準を一般的に満たすべき道路密度として整理された。

※道路密度について

- ・現行の都市計画法の公布(S43.6.15 公布、S44.6.14 施行)以降において、都市内道路の網間隔や網密度について正式に図書の中で言及され始めたのは、「都市計画道路の計画標準」※1(S49.9.1、(財)都市計画協会)からと考えられる。
- ・以降、(財)都市計画協会の提言等※2 を受けたかたちで、都市計画中央審議会※3 でオーソライズされるという手順を踏んでいる。

※1:「都市計画道路の計画標準」(S49.9、(財)都市計画協会)

- ・幹線道路と補助幹線道路の網間隔を初めて提案。

※2:「明日の都市と道路整備 その展望と施策」(S56.12、(財)都市計画協会)

- ・主要幹線道路の網密度 0.7km/km²、幹線・補助幹線道路の土地利用区分別の網密度および市街地の平均的な網密度を 3.5km/km²、区画道路の網密度 20km/km²と提案。

※3: 都市計画中央審議会中間答申(S58.5.10、諮問はS57.1.26)

- ・「良好な市街地の形成のための都市内道路の整備のあり方とその推進方策は、いかにあるべきか」(答申第 13 号)において、※2 で提案された水準を上表のような表現でオーソライズ。

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

この他、公園、緑地、広場、緩衝帯等に関する基準についても留意する必要がある。

表 7 開発行為に関わる技術基準

関係法令	項目	内容
都市計画法	公園等の設置基準	(都市計画法施行規則第 21 条) ・開発区域面積 20ha 以上の場合、面積の 3%以上の公園面積を確保し、1 箇所 1,000m ² 上の公園を 2 箇所以上配置
	緩衝帯の幅員	(都市計画法施行規則第 23 条の 3) ・対象は工場や第一種特定工作物など環境悪化をもたらす恐れがある施設の建設等を目的とする 1ha 以上の開発 ・開発区域の境界に沿ってその内側に、幅員 20m の緩衝帯を設置
	※参考 緑化率	(都市計画研究教育施設第一地区地区計画) = KEK 内の地区計画 ・敷地の 30%以上を目標とする
森林法	残地森林率の割合	(開発行為の許可基準の運用細則について) ・対象は地域対象民有林において 1ha 以上 ・森林率は、 ・工場・事業場: 25%以上、外周に 30m 以上の緩衝帯設置 ・住宅団地: 20%以上(緑地含む)、外周に 30m 以上の緩衝帯設置
工場立地法	緩衝帯の設置基準	(工場立地法第 4 条の規定に基づく工場立地に関する準則) ・対象は、一団地内における敷地規模が 9,000 m ² 以上または建築面積の合計が 3,000 m ² 以上の工場など ・各工場敷地に決められた緑地面積及び環境施設を確保する ・緑地面積は、敷地面積の 20%以上 ・環境施設面積は、敷地面積の 25%以上(緑地面積を含む)
※2 参考	敷地外周部の緑地帯	・幅員 25m以上に道路に面する敷地境界は幅 30m以上、その他敷地境界は幅 10m以上を確保

※1: 開発許可制度運用指針 III-5-2 第 2 号関係(公園、緑地又は広場に関する基準)

法上、開発行為に伴い必要とされる公園等は、開発区域内の利用者のために必要なものであり、広域的な観点から必要とされる公園については、別途公共側で整備するものであるから、例えば大学等の建設を目的とした開発行為における公園等の整備については、大学等の敷地内に、学生・教職員等の利用を想定した緑地又は広場等が当該大学等の計画に基づき整備されれば足り、専ら一般公共の利用に供する公園の整備まで要求することは望ましくない。

※2: 筑波研究学園都市の研究・教育施設地区における土地利用のルール(案)

筑波研究学園都市一団地の官公庁施設建設計画標準に代わって、現状に則した新たな土地利用のルール(案)として関係機関における土地利用を検討する「筑波研究学園都市の建設推進状況調査検討会」で検討したもの。

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

生活排水については、ILC 地域全体が単独地区として建設される可能性が高いとされており、最近のインフラ整備の方向性からコミュニティプラント※(環境省所管)を中心に検討する必要があるとされている。

※コミュニティプラント:管渠によって尿尿と生活排水を集合処理する施設である。設備、処理方式とも下水道に類似するが、あくまでもし尿処理施設の種類として、廃棄物処理法で規定されている。計画処理人口が 101 人以上 3 万人未満については、国庫補助の対象処理方式として、接触曝気、回転板接触、回分式活性汚泥、長時間曝気、標準活性汚泥、膜、生物学的脱窒素がある。

環境省が設定している排出基準(一律排出基準)は次の通り。

表 8 一律排水基準 有害物質

有害物質の種類		許容限度
カドミウム及びその化合物		0.03mg Cd/L
シアン化合物		1 mg CN/L
有機燐化合物(パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及び EPN に限る。)		1mg/L
鉛及びその化合物		0.1 mg Pb/L
六価クロム化合物		0.5 mg Cr(VI)/L
砒素及びその化合物		0.1 mg As/L
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物		0.005 mg Hg/L
アルキル水銀化合物		検出されないこと。
ポリ塩化ビフェニル		0.003mg/L
トリクロロエチレン		0.1mg/L
テトラクロロエチレン		0.1mg/L
ジクロロメタン		0.2mg/L
四塩化炭素		0.02mg/L
1, 2-ジクロロエタン		0.04mg/L
1, 1-ジクロロエチレン		1mg/L
シス-1, 2-ジクロロエチレン		0.4mg/L
1, 1, 1-トリクロロエタン		3mg/L
1, 1, 2-トリクロロエタン		0.06mg/L
1, 3-ジクロロプロペン		0.02mg/L
チウラム		0.06mg/L
シマジン		0.03mg/L
チオベンカルブ		0.2mg/L
ベンゼン		0.1mg/L
セレン及びその化合物		0.1 mg Se/L
ほう素及びその化合物	海域以外の公共用水域に排出されるもの:	10 mg B/L
	海域に排出されるもの:	230 mg B/L
ふっ素及びその化合物	海域以外の公共用水域に排出されるもの:	8 mg F/L
	海域に排出されるもの:	15 mg F/L
アンモニア、アンモニウム化合物、	アンモニア性窒素に 0.4 を乗じたもの、 亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の合計量:	100mg/L
亜硝酸化合物及び硝酸化合物		
1, 4-ジオキサン		0.5mg/L

備考 1.「検出されないこと。」とは、第2条の規定に基づき環境大臣が定める方法により排水水の汚染状態を検定した場合において、その結果が当該検定方法の定量限界を下回ることをいう。

2.砒(び)素及びその化合物についての排水基準は、水質汚濁防止法施行令及び廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令の一部を改正する政令(昭和 49 年政令第 363 号)の施行の際現にゆう出している温泉(温泉法(昭和 23 年法律第 125 号)第2条第1項に規定するものをいう。以下同じ。)を利用する旅館業に属する事業場に係る排水水については、当分の間、適用しない。

出典 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html>

表 9 一律排水基準 その他の項目

項目		許容限度
水素イオン濃度(水素指数) (pH)	海域以外の公共用水域に排出されるもの:	5.8 以上 8.6 以下
	海域に排出されるもの:	5.0 以上 9.0 以下
生物化学的酸素要求量(BOD)		160mg/L (日間平均 120mg/L)
化学的酸素要求量(COD)		160mg/L (日間平均 120mg/L)
浮遊物質量(SS)		200mg/L (日間平均 150mg/L)
ノルマルヘキサン抽出物質含有量(鉱油類含有量)		5mg/L
ノルマルヘキサン抽出物質含有量(動植物油脂類含有量)		30mg/L
フェノール類含有量		5mg/L
銅含有量		3mg/L
亜鉛含有量		2mg/L
溶解性鉄含有量		10mg/L
溶解性マンガン含有量		10mg/L
クロム含有量		2mg/L
大腸菌群数		日間平均 3000 個/cm ³
窒素含有量		120mg/L (日間平均 60mg/L)
燐含有量		16mg/L (日間平均 8mg/L)

備考 1.「日間平均」による許容限度は、1日の排出水の平均的な汚染状態について定めたものである。

2.この表に掲げる排水基準は、1日当たりの平均的な排出水の量が 50 立方メートル以上である工場又は事業場に係る排水について適用する。

3.水素イオン濃度及び溶解性鉄含有量についての排水基準は、硫黄鉱業(硫黄と共存する硫化鉄鉱を掘採する鉱業を含む。)に属する工場又は事業場に係る排水については適用しない。

4.水素イオン濃度、銅含有量、亜鉛含有量、溶解性鉄含有量、溶解性マンガン含有量及びクロム含有量についての排水基準は、水質汚濁防止法施行令及び廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令の一部を改正する政令の施行の際現にゆう出している温泉を利用する旅館業に属する事業場に係る排水については、当分の間、適用しない。

5.生物化学的酸素要求量についての排水基準は、海域及び湖沼以外の公共用水域に排出される排水に限って適用し、化学的酸素要求量についての排水基準は、海域及び湖沼に排出される排水に限って適用する。

6.窒素含有量についての排水基準は、窒素が湖沼植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある湖沼として環境大臣が定める湖沼、海洋植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある海域(湖沼であって水の塩素イオン含有量が1リットルにつき9,000 ミリグラムを超えるものを含む。以下同じ。)として環境大臣が定める海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排水に限って適用する。

7.燐(りん)含有量についての排水基準は、燐(りん)が湖沼植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある湖沼として環境大臣が定める湖沼、海洋植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある海域として環境大臣が定める海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排水に限って適用する。

出典 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/water/impure/haisui.html>

ILC 建設に係る実際の工事では、これまでの関連規制に加え、以下の規制にも準拠する必要がある。

表 10 ILC 建設の実際の工事における主な規制

対 象	主な規制
工事における排水及び湧き水の処理	水質汚濁防止法 土壌汚染対策法 環境基本法
排水による周辺水域の水質汚濁防止	
自然由来の重金属による周辺の土壌汚染防止	
工事に伴う騒音、振動、粉じん等の防止	騒音/振動規制法
工事車両の通行	道路法、道路交通法
工事に伴い発生する廃棄物の処理	廃棄物処理法
労働者の安全の確保	労働基準法 労働安全衛生法

出典 高エネルギー加速器研究機構から NRI 作成

防災の観点から消防法が適用される。

表 11 消防法の構成

消防法	消防機関の活動や権限、消防設備等の設置や義務、規制等を規定
消防法施行令	消防用設備に関する技術基準、救急業務、消防設備に関する検査等を規定
消防法施行規則	消防法施行に必要な防火・消防管理者、消防計画等の届出、消防用設備等の設置、維持の技術上の基準、検査、点検等を規定
危険物の規制に関する政令	消防法で定める危険物について、その委任により、またはその実施を規定
危険物の規制に関する規則	
規格省令	一定の消防機械器具等に係る検定を規定
(市町村火災予防条例)	火災の予防に関する事項のうち、消防法の委任を受けたものや、地方的な事情により必要とされるもの、自主的に 安全性効能のため規制すべきもの等について、各市町村で規定

消防法施行令別表第一では、防火管理上必要な業務等を点検させ、その結果を消防長又は消防署長に毎年 1 回報告義務を負う防火対象物を指定している。

表 12 防火対象物の用途区分表

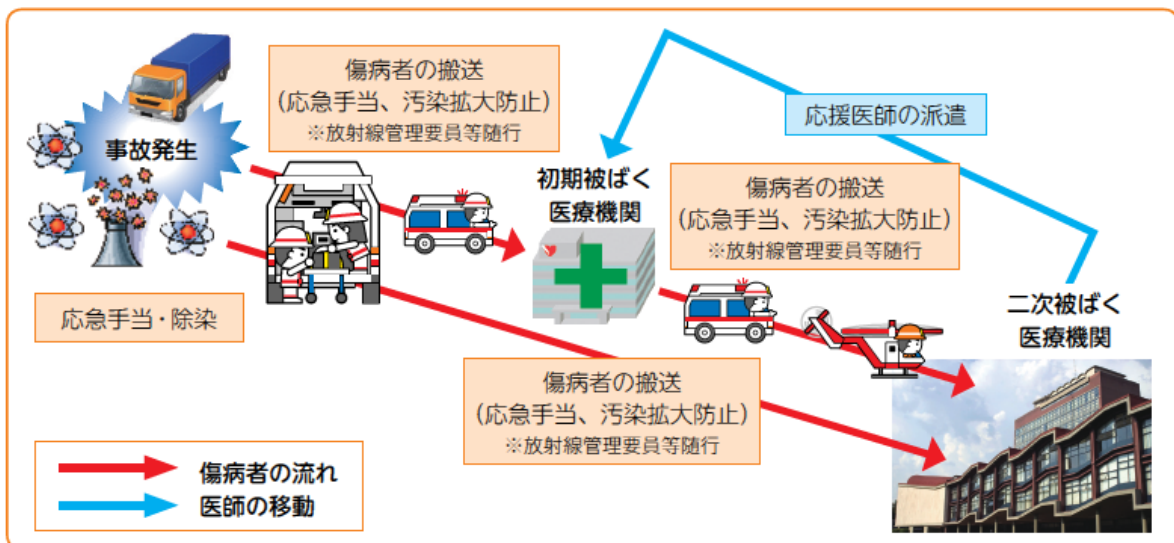
項別	防火対象物の用途等	
(一)	イ	劇場、映画館、演芸場又は観覧場
	ロ	公会堂又は集会場
(二)	イ	キャバレー、カフェー、ナイトクラブその他これらに類するもの
	ロ	遊技場又はダンスホール
	ハ	風俗営業等の規制及び業務の適正化等に関する法律第2条第5項に規定する性風俗関連特殊営業を営む店舗（二並びに(1)項イ、(4)項、(5)項イ及び(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供されているものを除く。）その他これに類するものとして総務省令で定めるもの
(三)	イ	カラオケボックスその他遊興のための設備又は物品を個室（これに類する施設を含む。）において客に利用させる役務を提供する業務を営む店舗で総務省令で定めるもの
	ロ	待合、料理店その他これらに類するもの
(四)	イ	飲食店
	ロ	百貨店、マーケットその他の物品販売業を営む店舗又は展示場
(五)	イ	旅館、ホテル、宿泊所その他これらに類するもの
	ロ	寄宿舎、下宿又は共同住宅
(六)	イ	病院、診療所又は助産所
	ロ	老人短期入所施設、養護老人ホーム、特別養護老人ホーム、有料老人ホーム（主として要介護状態にある者を入居させるものに限る。）、介護老人保健施設、救護施設、乳児院、知的障害児施設、盲ろうあ児施設（通所施設を除く。）、肢体不自由児施設（通所施設を除く。）、重症心身障害児施設、障害者支援施設（主として障害の程度が重い者を入所させるものに限る。）、老人福祉法第5条の2第4項若しくは第6項に規定する老人短期入所事業若しくは認知症対応型老人共同生活援助事業を行う施設又は障害者自立支援法第5条第8項若しくは第10項に規定する短期入所若しくは共同生活介護を行う施設（主として障害の程度が重い者を入所させるものに限る。ハにおいて「短期入所等施設」という。）
	ハ	老人デイサービスセンター、軽費老人ホーム、老人福祉センター、老人介護支援センター、有料老人ホーム（主として要介護状態にある者を入居させるものを除く。）、更正施設、助産施設、保育所、児童養護施設、知的障害児通園施設、盲ろうあ児施設、（通所施設に限る。）、肢体不自由児施設（通所施設に限る。）、情緒障害児短期治療施設、児童自立支援施設、児童家庭支援センター、身体障害者福祉センター、障害者支援施設（主として障害の程度が重い者を入所させるものを除く。）、地域活動支援センター、福祉ホーム、老人福祉法第5条の2第3項若しくは第5項に規定する老人デイサービス事業若しくは小規模多機能型居宅介護事業を行う施設又は障害者自立支援法第5条第6項から第8項まで、第10項若しくは第13項から第16項までに規定する生活介護、児童デイサービス、短期入所、共同生活介護、自立訓練、就労移行支援、就労継続支援若しくは共同生活援助を行う施設（短期入所等施設を除く。）、
(七)	イ	幼稚園又は特別支援学校
	ロ	小学校、中学校、高等学校、中等教育学校、高等専門学校、大学、専修学校、各種学校その他これらに類するもの
(八)		図書館、博物館、美術館その他これらに類するもの
(九)	イ	公衆浴場のうち、蒸気浴場、熱気浴場その他これらに類するもの
	ロ	イに掲げる公衆浴場以外の公衆浴場
(十)		車両の停車場又は船舶若しくは航空機の発着場（旅客の乗降又は待合いの用に供する建築物に限る。）
(十一)		神社、寺院、教会その他これらに類するもの
(十二)	イ	工場又は作業場
	ロ	映画スタジオ又はテレビスタジオ
(十三)	イ	自動車車庫又は駐車場
	ロ	飛行機又は回転翼航空機の格納庫
(十四)		倉庫
(十五)		前各項に該当しない事業場
(十六)	イ	複合用途防火対象物のうち、その一部が(1)項から(4)項まで、(5)項イ、(6)項又は(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供されているもの
	ロ	イに掲げる複合用途防火対象物以外の複合用途防火対象物
(十六の二)		地下街
(十六の三)		建築物の地階（(16の2)項に掲げるものの各階を除く。）で連続して地下道に面して設けられたものと当該地下道とを合わせたもの（(1)項から(4)項まで、(5)項イ、(6)項又は(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供される部分が存するものに限る。）
(十七)		文化財保護法の規定によつて重要文化財、重要有形民俗文化財、史跡若しくは重要な文化財として指定され、又は旧重要美術品等の保存に関する法律の規定によつて重要美術品として認定された建造物
(十八)		延長50メートル以上のアーケード
(十九)		市町村長の指定する山林
(二十)		総務省令で定める舟車

出典 消防庁

また消防庁では、「消防職員のための放射線物質事故対応の基礎知識(平成23年3月、平成27年3月一部改定)」を、各消防本部における職員への研修や自習で活用されることを目的に公表している。

図7 消防職員のための放射線物質事故対応の基礎知識で示されている緊急被ばく医療の手順

1. 「緊急被ばく医療」とは、原子力災害や放射線事故により被ばくした患者や放射性物質による汚染や放射線による被ばくを伴う救急患者に対する医療行為であり、「通常の救急医療に放射性物質による汚染に対する処置、放射線による被ばくに対する処置が加わった」ものです。
2. 原子力施設のみならず、全国に所在している放射性同位元素の使用施設等(医療機関、工場、研究施設など)においても、被ばく患者が発生する可能性があります。
3. 緊急被ばく医療体制(※)は、次のとおりです。
 ※緊急被ばく医療体制については、平成27年2月現在、原子力規制委員会により見直しが行われているところです。
 - (1) 初期被ばく医療機関…汚染の有無にかかわらず、初期診療・救急診療を実施
 - (2) 二次被ばく医療機関…専門的な診療を実施
 - (3) 三次被ばく医療機関…高度専門的な診療を実施(全国2箇所)
 ※東日本ブロック 放射線医学総合研究所(千葉県)
 ※西日本ブロック 広島大学(広島県)
4. 「3」の医療機関のほか、被ばく者の治療を行える医療機関は、NBC事故に対応できる災害拠点病院などがあります。
5. 原子力施設等で緊急被ばく医療が必要な傷病者が発生した場合の初動対応の流れは、下図のとおりです。



原子力安全協会 緊急被ばく医療研修ホームページを参考に作成

6. 汚染を伴う傷病者の搬送については、搬送先の医療機関の受入体制が整っていることが必要であるため、各地域における医療機関体制を把握しておくことが重要です。

Column 過去にはどんな被ばく事故があったの？

過去には、核燃料施設だけでなく、医療機関の検査室などでも被ばく事故は発生しています。なかには、非破壊検査中の被ばくや、紛失した放射性物質を拾った第三者の被ばくなど、様々な事故がありました。

出典 消防職員のための放射線物質事故対応の基礎知識(平成23年3月、平成27年3月一部改定)/消防庁

防災という観点では、自治体が災害時の対応を住民や事業者に求めている事例がある。例えば、岩手県では、「みんなで取り組む防災活動促進条例(平成 22 年 10 月 15 日岩手県条例第 49 号)」を制定している。

この条例の中で、事業者の責務として以下が規定されている。

表 13 岩手県みんなで取り組む防災活動促進条例による事業者の責務

(自主防災組織等及び事業者の責務)	
第5条	自主防災組織等は、基本理念にのっとり、地域における共助の担い手として防災活動を行うよう努めるものとする。
2	事業者は、基本理念にのっとり、地域における共助の担い手として自ら災害の発生に備えるための手段を講ずるとともに、地域における防災活動に参加するよう努めるものとする。

ILC の建設工事に関して検討すべき事項として、次が整理されている。

表 14 ILC の建設工事に関して検討すべき事項

検討の視点	内容
①掘削土の処理	<ul style="list-style-type: none"> ■ストックヤードの確保(一次ヤード) ・約 50ha 用地を確保する必要性 ■岩ズリ等の破砕ヤード確保(二次ヤード) ・一次ヤードの 50%程度の用地を確保 ■碎石の利活用 ・造成材、土木工事資材、生コン骨材転用を検討(岩手県、福岡県は、生コン生産能力の約1年分相当) ■利活用するためのストックヤードタイプをケーススタディ
②環境影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ■工事実施、供用時の評価項目及び保全措置上の課題の明確化 ・任意アセスを想定し、手続き、環境影響評価項目及び環境保全措置の課題を把握 ・岩盤掘削に伴う大量ズリを建設副産物としての処理プロセス、処理方法等のリサイクル・産廃処理を検討
③建設関連法基準の適用条件	<ul style="list-style-type: none"> ■法適用現況と許認可手続の明確化 ・建設関連法規、法基準、許認可関係、協議事項 ・許認可申請、届出事項、関係機関協議事項 ・各候補地自治体における法適用
④電力インフラとの整合性	<ul style="list-style-type: none"> ■設備容量の設定と供給上の留意事項 ・運用時 240MWを確保 ・電力供給における留意事項を明示
⑤交通インフラとの整合性	<ul style="list-style-type: none"> ■工事車両の交通影響 ・建設期における工事発生集中量の想定と運搬経路上の配慮事項を整理 ■加速器・測定器搬入における輸送経路想定 ・加速器・測定器材のロットサイズを設定 ・輸送車両の諸元及び車両数を設定 ・輸送経路の現状を整理 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 搬入港湾(北上:仙台塩釜港、大船渡港、脊振:博多港、伊万里港)を想定し、40ft 及び 45ft コンテナでの輸送経路の現状を整理
⑥その他インフラとの整合性	<ul style="list-style-type: none"> ■給排水の需要と供給対応上の留意事項 ・建設期、インストール期、運用期の給排水需要を想定し、地域での供給体制上の留意事項を整理 ■工事に伴い発生する廃棄物処理の留意事項を整理 ■建設工事従事者(特に海外技術者)に対する居住インフラ確保について整理

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

2) ILC 及び ILC 加速器実験サイトに関する主な規制の整理

①放射線障害防止法

ILC 及び ILC 加速器実験サイトでは、これまで整理された関連法に加え、放射線障害防止法が適用される。

ILC の加速器トンネル内は加速器の運転中に、電子線の加速に伴い、X 線等の放射線が放出されるため、放射線管理区域として管理される。放射線の発生は、加速器の運転停止とともに停止する。

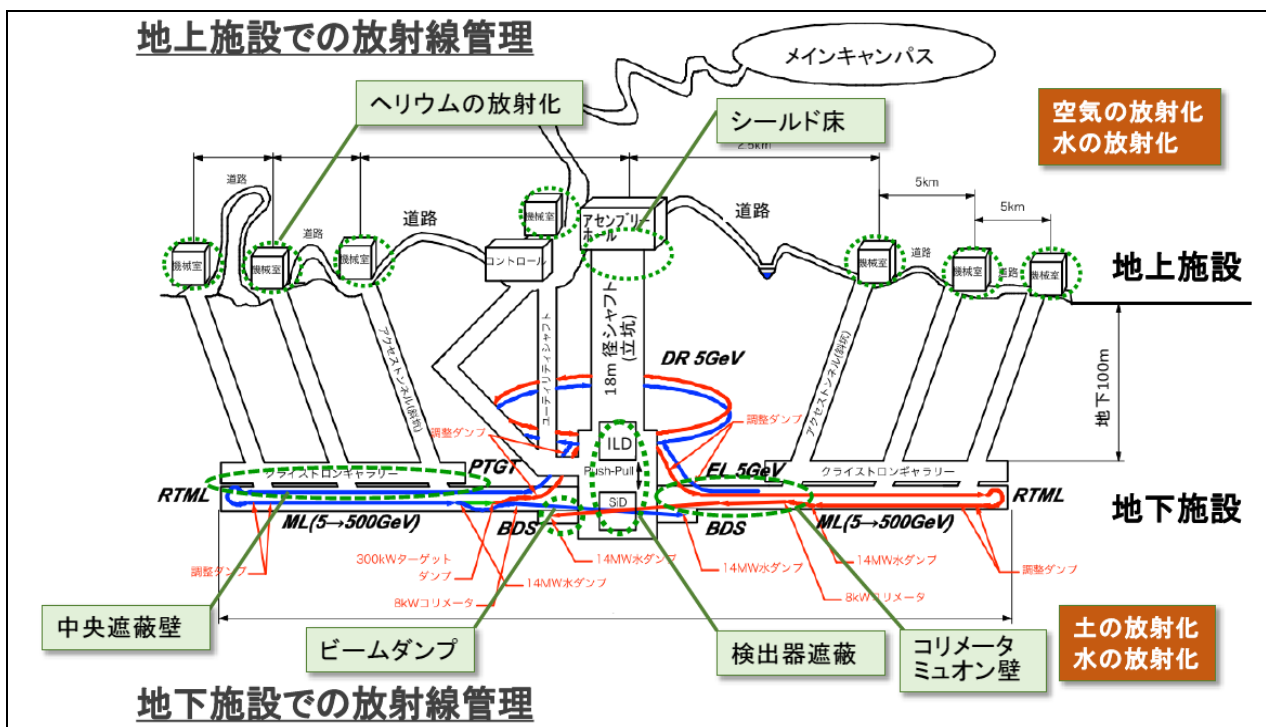
ただ、加速器トンネル内の空気と運転中に発生している放射線との相互作用により、空気の放射化が発生、また、マグネット等を冷却する冷却水が放射化する可能性がある。

日本における ILC 加速器トンネルは、深い地下に設置され、必ず、長いアクセストンネルまたは排気ダクトを経由することになる。この間に排気空気のモニター、フィルター等を設置することで、外部／一般大気への汚染空気の排気を防止する。また、冷却水は閉じた経路で管理区域内を循環させることで、管理区域外へ漏えいを防止する。

ILC の加速器トンネルは、放射化により放射線物質が含まれる可能性のある施設内の空気や水が、直接管理区域外に放出されないよう設計され、排気ファン等には、放射線物質を含む塵を捉えるフィルターを備えて漏えいを防止し、万一の漏えい事故に即座に対応できるよう、放射線モニターで周辺の放射線量や放射性物質濃度が常に監視される。

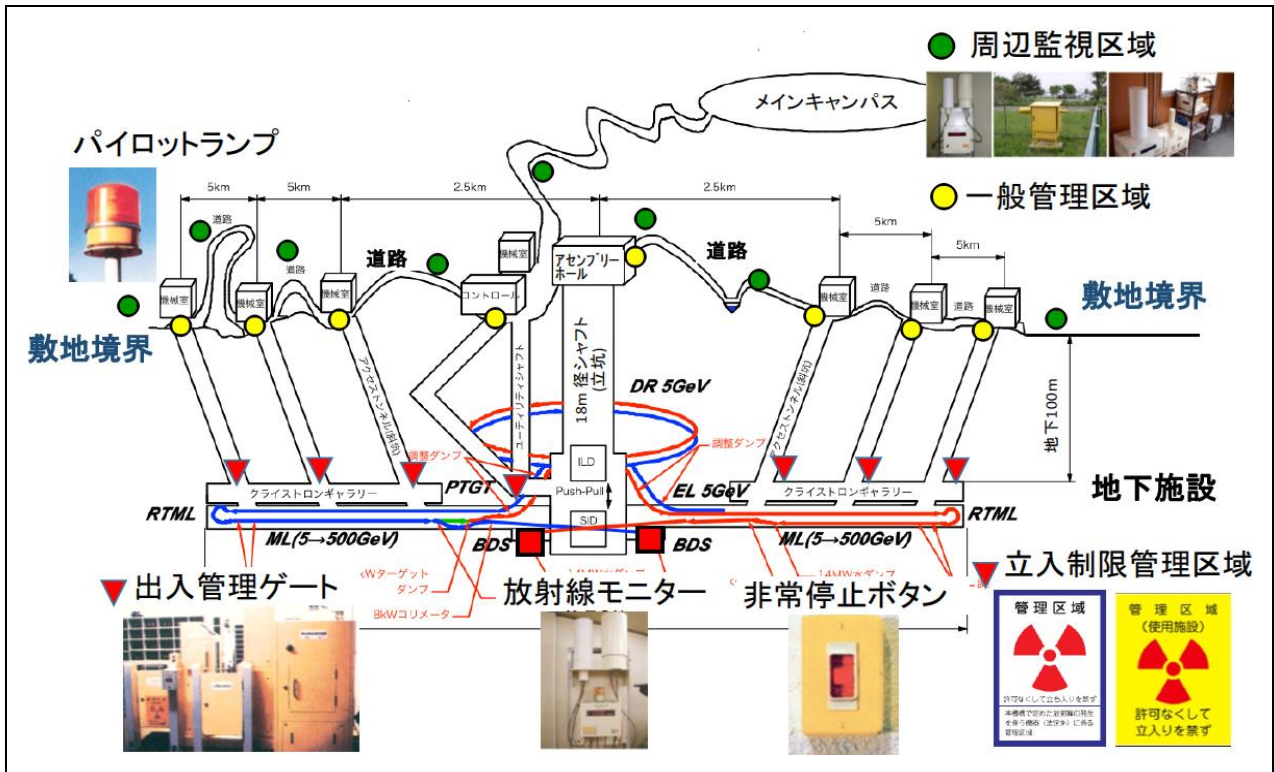
現状で放射線管理については、以下のような検討が進められている。

図 8 放射線管理の検討状況



出典 高エネルギー加速器研究機構

図 9 放射線安全区域に係る計画



出典 高エネルギー加速器研究機構

例として、KEK では、放射線管理区域における基準を以下の通り設定している。

表 15 KEK における放射線管理区域における基準設定の例

管理項目	基準
外部放射線量	空間線量 $< 50 \mu\text{Sv}$ (放射線障害防止法 $< 1\text{mSv}$)
排気中放射能濃度	排気中濃度限界 $\times 0.05\text{Bq}/\text{cm}^3$
排水中放射能濃度	排水中濃度限界 $\times 0.05\text{Bq}/\text{cm}^3$

出典 宮原 正信/高エネルギー加速器研究機構

図 10 KEK における放射線モニタリングの具体例

放射線モニター 外部モニタリング装置



敷地境界放射線測定ハット



- 放射線モニターを設置、24時間365日測定・記録
- 空間線量、空气中濃度、排水中濃度を測定
- 基準値を超えたら自動的に加速器を停止するシステム

出典 高エネルギー加速器研究機構

② 高圧ガス保安法

超伝導空洞の冷却に用いられる液体ヘリウムについて高圧ガス保安法が適用される。

以下は、”KEK における ILC のための超伝導 9 セル空洞製造の研究/ 2013 年 12 月 6 日/佐伯学行(KEK 加速器研究施設)”による論文の一部引用である。

図 11 高圧ガス保安法の適用

空洞中央のセル部と外側のジャケットと呼ばれる Ti 管との間に液体ヘリウムが供給・充填され、これにより空洞は温度 2K に冷却される。日本における高圧ガス保安法では、この液体ヘリウムは高圧ガスであるため、それを充填する空洞とジャケットの間の空間は高圧ガス容器となる。このため、空洞の製造は日本の高圧ガス保安法を順守した方法が求められる。具体的には、容器部分の溶接方法や耐圧シミュレーションなどを高圧ガス保安協会に製造前に申請して製造許可を得てから製造し、さらに 1 台 1 台に対する圧力試験を高圧ガス保安協会の立会のもとに実施する必要がある。この申請に関する事務処理と圧力試験の実施は大変な労力を伴い、もちろん、ILC のコストにも影響を与える。国内の研究者や企業にとっても厄介なことであるが、国外の研究者と企業にとってはさらに日本語と日本の法律順守が大きな壁になり得る。このため、CFF において空洞を高圧ガス保安法に順守して製造し、これを高圧ガス保安法の下で KEK/STF においてクライオモジュールに組み込んで運転することで、研究者がこの処理手順をすべて理解し経験することを目指している。これは、新規に空洞製造に参入する企業や、外国の企業が ILC に空洞を設置する際に、KEK/CFF が高圧保安法に順守した空洞の製造をガイドするための準備となる。

Japanese High-Pressure Gas safety act

He in-between the Ti-jacket and Nb cavity

Ti

Nb

Ti

Ti

One must fabricate cavities complying with **Japanese High-Pressure Gas (J-HPG) safety act** if we use the cavities in accelerators.

For cavities by vendors,
Manufacturer: KEK
Applicant: vendors

For cavity KEK-03 in CFF,
Manufacturer: KEK
Applicant: KEK/CFF

In case of ILC in Japan, a significant fraction of cavities might be imported from foreign vendors. KEK/CFF can guide them for the procedures of J-HPG safety act.

出典 KEK における ILC のための超伝導 9 セル空洞製造の研究/ 2013 年 12 月 6 日/佐伯学行(KEK 加速器研究施設)

4. ILC の建設と環境アセスメント

環境アセスメントの対象事業は次の通り整理されている。

図 12 環境アセスメントの対象事業

	第1種事業 (必ず環境アセスメントを行う事業)	第2種事業 (環境アセスメントが必要かどうかを個別に判断する事業)
1 道路		
高速自動車国道 首都高速道路など	すべて	—
一般国道	4車線以上のもの	—
林道	4車線以上・10km以上 幅員6.5m以上・20km以上	4車線以上・7.5km~10km 幅員6.5m以上・15km~20km
2 河川		
ダム、堰 放水路、湖沼開発	湛水面積100ha以上 土地改変面積100ha以上	湛水面積75ha~100ha 土地改変面積75ha~100ha
3 鉄道		
新幹線鉄道	すべて	—
鉄道、軌道	長さ10km以上	長さ7.5km~10km
4 飛行場	滑走路長2,500m以上	滑走路長1,875m~2,500m
5 発電所		
水力発電所	出力3万kW以上	出力2.25万kW~3万kW
火力発電所	出力15万kW以上	出力11.25万kW~15万kW
地熱発電所	出力1万kW以上	出力7,500kW~1万kW
原子力発電所	すべて	—
風力発電所	出力1万kW以上	出力7,500kW~1万kW
6 廃棄物最終処分場	面積30ha以上	面積25ha~30ha
7 埋立て、干拓	面積50ha超	面積40ha~50ha
8 土地区画整理事業	面積100ha以上	面積75ha~100ha
9 新住宅市街地開発事業	面積100ha以上	面積75ha~100ha
10 工業団地造成事業	面積100ha以上	面積75ha~100ha
11 新都市基盤整備事業	面積100ha以上	面積75ha~100ha
12 流通業務団地造成事業	面積100ha以上	面積75ha~100ha
13 宅地の造成の事業(*1)	面積100ha以上	面積75ha~100ha
○港湾計画(*2)	埋立・掘込み面積の合計300ha以上	

(*1)「宅地」には、住宅地以外にも工場用地なども含まれる。

(*2) 港湾計画については、港湾環境アセスメント(14ページ参照)の対象となる。

出典 環境アセスメントの精度のあらまし/環境省

ILC 建設において、ILC(地下施設建設)については、①研究施設用途は対象外、②開発面積が100haを越えない、という理由から、環境アセスメントの義務は負わないものとされ、一方で、ILC 加速器実験サイトなど地上部施設については、規模により実施が必要となるとされている。

ILC 建設において想定される、環境への影響に係る項目は次のように整理されている。

表 16 ILC 建設において想定される、環境への影響に係る項目

環境要素の区分			影響要因の区分の例	
			工事の実施	存在・供用
環境の自然的構成要素の良好な状態の保持	大気環境	大気質 (NO _x 、SPM、粉じんなど)	<ul style="list-style-type: none"> 建設機械の稼働、資機材の輸送 掘削土の処理に伴う粉じんの発生 化学反応に由来する有毒ガスの発生 	自動車の走行、換気所の供用
		騒音・振動・低周波音	<ul style="list-style-type: none"> 建設機械・工事中機械の稼働、資機材の輸送 	換気所からの騒音、低周波音の発生
	水環境	水質(水の汚れ、水の濁り)	<ul style="list-style-type: none"> 汚泥処理からの濁水の発生 	雨水排水、冷却水などの放流
		地下水(水位、水質)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削工事・トンネル工事による地下水位変動・流動阻害 掘削工事・トンネル工事による地下水水質の酸性化 	
	土壌に掛かる環境、その他の環境	地形及び地質	<ul style="list-style-type: none"> 湧水・埋蔵文化財の消滅など 化学反応に由来する地盤の発熱及び強度低下 	
		地盤沈下	<ul style="list-style-type: none"> 掘削工事・トンネル工事による地盤沈下 	
生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全	動物・植物・生態系		<ul style="list-style-type: none"> 改変による動物・植物・生態系へ影響 	地上施設による動物・植物・生態系の変化
人と自然の豊かなふれあい	景観			地上施設による景観阻害
	人と自然とのふれあい活動の場		<ul style="list-style-type: none"> 湧水・埋蔵文化財の消滅など 工事による通信阻害など 	通勤車両による渋滞発生など
	廃棄物		<ul style="list-style-type: none"> 掘削土の発生 掘削汚泥の発生 	廃棄物の発生 <ul style="list-style-type: none"> 岩盤掘削に伴う大量ズリの活用策を検討 面的開発(中央キャンパス)を含めた活用策(盛土・骨材等) 建設発生土利用技術マニュアル(独法 土木研究所)による例示 産業廃棄物処理検討 建設時の廃棄物は副産物としてリサイクル 実験装置等の建設における廃棄物を明らかにして処理
環境への負荷	日照阻害・電波障害			地上施設による影響 ※山岳部では、ほぼ対象とならない

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

5. ILC の建設と地震

ILC 施設の土木工事に関するガイドライン策定(2014 年 8 月/宮原正信)において、ILC の耐震設計・地震対策については以下の記述がある。

“主として地上に建設される建築物は、規模の大小にかかわらず「建築基準法」に従って設計・施工することが義務付けられている。これに対し、地下構造物を主とする土木工作物については、規模の大小にかかわらず同様の規制法は存在しない。従って、道路・鉄道・トンネル・橋梁などの社会基盤施設をはじめ、港湾やダム、地下発電所などを含む大規模な土木構造物は公共事業として建設されることが多く、事業者や企業体自らの責任において設計し建設されているのが一般的である。ILC 施設の建設プロジェクトに関しても、同様の手続きになる可能性が高いと見込まれている。”

さらに、国際リニアコライダー施設(ILC)の土木工事に関するガイドライン(2014 年 3 月/土木学会 岩盤力学委員会)では以下のように整理されている。

規制がなく、また地上に比べて地下空間は地震の影響が少ないとされているため、地下発電所等の地下空洞では耐震設計を特段実施していない場合が多い。しかし、ILC の地下構造物のうち、実験ホールは多くの研究者・技術者の立ち入りや精密機器装置が多数設置されることが想定されているため、適切な耐震設計が望ましい。

2011 年東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震(マグニチュード 9.0)のような海溝型巨大地震による被害が心配されるが、東北地方太平洋沖地震では津波・地震動による土木構造物への被害は甚大であった一方で、トンネル等の地下構造物への損傷被害はほとんど報告されていない。さらに、同地震では、広範な地殻変動が観察されており、変動量の特に顕著である地域以外では、ILC 施設の機能を損なうものではないと考えられている。

“実験ホールの空洞は、従来の地下発電所や地下備蓄空洞と大差ない規模であり、基本的に従来までに実施されている設計手法の適用が可能と考えられる。地震による地下施設の被害例としては、トンネルでは兵庫県南部地震などでいくつか事例があるが、地下空洞において地震による崩壊、損傷の事例は無く、我が国で起こりうる大規模地震(海溝型と活断層型の 2 つのタイプ)に対して、ILC 施設の場合は、深刻なダメージを受ける可能性は低いと言える。なお、実験ホールは施設の中でも重要度が高いため、断層活動の影響を及ぼさない配置を検討すべきである。

地震動の影響は、施設を地下深部に建設することにより影響を小さく抑えられる。東日本大震災時に地表と地下 100m 地点の揺れを比較したデータでは、グリーンタフ地域の堆積岩(軟岩)では地下の最大加速度は地表の 1/2 程度であるのに対し、花崗岩地盤では最大加速度が地表の 1/5~1/3 程度と小さくなっていることが判明している。良好な花崗岩岩盤に建設される予定の ILC 施設では地震の影響はさらに少ないと予想される。”

上記のことから、KEK は、ILC に係るガイドラインを制定している。ガイドラインでは、地震への対策として、ILC 実験施設の中核をなす地下構造物に要求される耐震性能について、次のように提案されている。

表 17 ILC 実験施設の中核をなす地下構造物に要求される耐震性能

対 象	地震動	性能レベル	適用範囲
加速器トンネル	L1 地震動	性能レベルⅠ：無補修での機能保持	加速器トンネル -メインライナック -ダンピングリング 補助施設 -アクセストンネル -アクセスホール
	L2 地震動	性能レベルⅡ：早期に機能回復	
実験ホール	L1 地震動	性能レベルⅠ：無補修での機能保持	実験ホール空洞 補助施設 -アクセストンネル -補助トンネル -補助空洞
	L2 地震動	性能レベルⅡ：早期に機能回復	

※L1 地震動：従来の耐震設計でも想定されていた地震外力にあたり、構造物の使用期間中に数回発生すると考えられる強さの地震を示す。

※L2 地震動：近傍で発生する大規模なプレート境界地震（東北地方太平洋沖地震など）に加えて、兵庫県南部地震時における内陸直下型地震による地震動も対象とした発生確率の極めて低い地震動を示す。

出典 ILC 施設の土木工事に関するガイドライン策定/2014年8月10日/宮原正信

ILC 施設が一般施設と異なり、機器設置やメンテナンス作業に多数の人が長時間従事することや、供用開始後も関係者が随時アクセスすることなどに着目し、地震時における安全性の確保を最重要課題と位置付け、一般施設よりも高い耐震性能の確保を求めている。

6. ILC の建設とその他自然災害・防災

ILC 施設は長大かつ大深度の構造物であり、また実験施設内には実験に関係する研究者・技術者及び関係者が案内する見学者の入坑が想定される施設であり、地震の他に、火災・浸水・停電・ヘリウムリーク等の災害を想定した防災・避難対策を実施することが求められる。

「国際リニアコライダー施設(ILC)の土木工事に関するガイドライン(2014年3月/土木学会 岩盤力学委員会)」では以下のように整理・検討がなされている。(該当部分を抜粋)

【防災上重要な事象の抽出】

防災ガイドラインを検討する上で、防災上重要な事象として下記の事象を想定する。

- ①火災…漏電、スパーク、接触不良、モーターコイルの埃による出火が想定される。可燃物としてはケーブル、コンデンサーやトランスのオイルの燃焼が考えられる。
- ②浸水…地下水の浸入および配管からの漏洩が考えられる。
- ③停電…我が国においては商用電源が停電することは少なくなったが、停電時でも確保すべき非常用電源について検討を要する。
- ④ヘリウムリーク…クライオモジュール冷却用の液体ヘリウムの漏洩が考えられる。
- ⑤地震…地震時の施設の安全確保、ライフラインの断絶に対する安全確保が求められる。

【火災】

ILC施設で想定される火災は、加速器トンネルではケーブル火災、アクセストンネルでは車両火災である。アクセストンネルについては、電気自動車の導入等で火災発生および火災規模が抑制される可能性が考えられるため、排煙設備・消火設備・避難設備等の防災設備の設置状況を踏まえて通行可能車両を検討する必要がある。また、アクセストンネルは急勾配であり、煙が坑口方向へ拡がることから、救急・消防隊が迅速に到着するための進入経路をあらかじめ検討しておく必要がある。また、避難方法についても急勾配トンネルの煙の挙動特性を把握して策定し、必要に応じて安全空間(本坑と物理的に遮断された避難通路等)の設置を行うなど、地下空間特有の特性を考慮に入れた、防災対策が必要となる。

加速器トンネルでは、主にケーブル火災が想定されるが、火災規模が拡大しない対策(ケーブルへの対策や初期消火等)が必要である。また、避難者に対して避難ルート安全性を確保する対策(排煙・避難誘導表示・情報提供・非常時の電源確保等)が重要であり、かつ、救急・消防隊が現場に迅速に到着するための、通報・発災情報伝達・進入経路・非常用設備配置を関係機関と協議しておく必要がある。さらに、非常用設備の迅速かつ的確な運用が図れるように、関係機関との連携体制を確立し、非常時運用マニュアルを作成しておくことが望ましい。また、非常用設備の機器作動試験と共に防災訓練を定期的に行うことが有効である。

【浸水】

地下の実験施設となる本施設では、空間内部の浸入水や湧水は、通常、坑外への自然排水は難しいことが多く、重力に逆らった坑外への排水が必要となる。特に、大深度地下では、排水設備や冷却水の循環装置が故障や破損や停電によって、作動しなくなったり、漏水した場合には、実験装置が設置されている地下空間全体が浸水することになる。このため、近年の異常気象に伴われる集中豪雨、洪水等による地上から地下空間内部への水の流

入や施設内での漏水を極力少なくしなければならない。また、浸水が起こったり、可能性が高くなった場合には、入場者への情報伝達や避難誘導を迅速に実施しなければならない。

【停電】

地下施設は移動手段、照明、換気設備等に電力が供給されることによって成り立つ空間であるため、停電は各種設備の停止やこれに伴うパニックの発生等の重大な事態につながるおそれがある。仮に通常の受電システムが停電に陥った場合であっても、必要最低限の照明や換気等が継続して機能するようなシステムの構築が必要である。

このため、エネルギー供給の安定性、信頼性を高めるため、複数系統の受配電システムを構築するとともに、電気供給側の事故等に備えて、十分な容量と稼働時間を持つ非常用電源装置を設置して、施設の機能に著しい障害が生じないように対策を講じなければならない。

【ヘリウムリーク】

ILC 施設では通常の地下施設では使用しない大量の液体ヘリウムが使用される。このため、設計段階で液体ヘリウムの特性、ヘリウムリークの可能性のある場所の特定、事故事例等を調査し、入坑者の安全確保のための対策を講じなければならない。

特に、ILC施設では超伝導マグネットを用いて電子、陽電子を光速に近い速度にまで加速する。このとき、超伝導マグネットには、冷却材として液体ヘリウムが使用されるが、機器の不具合によりヘリウムが漏洩する可能性について否定できないといわれている。漏洩したヘリウムは即座に気化し、その比重は空気より小さいため(約1/7)トンネル上部に滞留することとなる(上部に滞留することは火災時の煙と同様である)。漏洩する量によりヘリウムと空気の境界が下がりトンネル内が酸欠(窒息)状態になる危険性がある(ヘリウムそのものに毒性はないが、酸素濃度が下がり酸欠となる)。

Ⅲ. 国内外の大型プロジェクトに関する調査

1. ILC の建設・運用に係るリスクの仮説

ILC の建設・運用に係るリスクを整理する目的で、国内外の大型プロジェクトに関する調査を実施した。調査に当たって検討したリスクに係る仮説は次の通り。

図 13 調査の当初に検討したリスク仮説

管理・運営体制について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発予算停止、発注先事業者破産、委託業者側トラブル、委託業者作業員の質低下など ・ 科学技術の進歩による想定技術の陳腐化など ・ 情報セキュリティなど ・ プロジェクトマネジメントに係る文化的な違い、プロジェクトマネジメント人材不足、インハウスエンジニアリング機能の脆弱性、意思決定過程不備など ・ 設計ミス、設計大幅変更、In-kind 方式の設計調整・複雑性など ・ 中核機器 R&D の遅れ、認証試験の遅れ、ソフト/システム開発と統合化テストの遅れ、システム変更の余裕時間の不足など ・ 安全管理、施工・作業ミスによる性能低下・事故発生、in-kind 方式調達機器の不整合など ・ 手続起因リスク(安全審査承認手続きの困難さなど)
財政について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原材料・素材価格の高騰など ・ スケジュールの遅延や事象発生に伴う別工事発注など ・ 入札・交渉の不調、遅延賠償責任など
加速器地下空間について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地質障害、地下水発生、地震の発生など
地上施設について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建設用地(地質、地盤、広さ等)の確保困難性
放射線防護について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 放射線物質漏洩
地震について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震の発生
防災について	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震以外の自然及び人為的な災害の発生

2.対象プロジェクトの選定

調査対象プロジェクトについては、ILC 計画の特徴(放射能・地下施設建設等)の観点からバランスを考慮し、国内外のプロジェクトを複数選定した。ILC 計画では、新規用地取得やトンネル等の新設が計画されているが、比較分析の観点から、既存用地を活用した事例についても対象とした。

表 18 調査対象プロジェクトの概要(海外)

	実施主体	概要及び調査対象とした理由	建設時期	施設規模	プロジェクト 建設費
LHC (Large Hadron Collider)					
	CERN	フランスとスイスの国境地域に LEP のトンネルを活用し世界最大のハドロン衝突型加速器を建設。 計画されている ILC と同様、加速器が地下に設置され、放射線防護の対応が必要とされることから選定。	1994～2008 ※LEP(1981～1989)	トンネル長: 27km	約 5,000 億円 (LEP を除き、トンネル以外も含む)
EUROPEAN XFEL (European XFEL GmbH, DESY 研究所)					
	DESY、 EUROPEAN XFEL GmbH	ドイツハンブルグの DESY キャンパスを中心として X 線自由電子レーザー 施設を建設。 計画されている ILC と同様、加速器が地下に設置され、放射線防護の対応が必要とされることから選定。	2009～2017	トンネル長: 3.4km	約 1,200 億円
LNGS (Laboratori Nazionali del GranSasso)					
	National Institute for Nuclear Physics (INFN)	イタリアアペニン山脈の山頂下 1,400m に高速道路をアクセス道路とした素粒子物理学研究施設を建設。 新たに地下トンネルを掘削し、放射線防護の対応が必要となる施設が整備されたことから選定。	1982～1987	施設面積 180,000 m ²	約 374 億円

表 19 調査対象プロジェクトの概要(国内)

	実施主体	概要及び調査対象とした理由	建設時期	施設規模	プロジェクト建設費
SPRING-8					
	日本原子力研究所、 理化学研究所、 公益財団法人高輝度光科学研究センター	兵庫県から土地の譲渡を受け、播磨科学公園都市内に大型放射光研究施設を建設。 新たに用地を取得し、放射線防護の対応が必要となる施設が整備されたことから選定。	1991～1997	リング直径 約 500m	1,100 億円
KEK-B					
	高エネルギー加速器研究機構	茨城県つくば市の KEK 内において、1995 年に実験が完了したトリスタン実験装置のトンネルが再利用され、電子・陽電子非対称エネルギーの円形衝突加速器施設を建設。 計画されている ILC と同様、加速器が地下に設置され、放射線防護の対応が必要とされることから選定。	1994～1998	リング周長 約 3km	378 億円
アクアライン					
	東京湾横断道路株式会社、 日本道路公団	東京湾の中央部を横断し、千葉県の本郷と神奈川県川崎を結ぶ海上・海底に自動車専用の有料道路を建設。 長大な地下トンネルを建設し、地下トンネル内に人が出入りするため、安全性への対応が必要とされることから選定。	1987～1997	15.1km	約 1 兆 4,400 億円
青函トンネル					
	日本鉄道建設公団	青森県東津軽郡と北海道上磯郡を結ぶ海底に、在来線(津軽海峡線)・北海道新幹線共用のトンネルを建設。 長大な地下トンネルを建設し、地下トンネル内に人が出入りするため、安全性への対応が必要とされることから選定。	1964～1985	53.85km (海底部分 23.3km)	約 6,900 億円
スーパーカミオカンデ					
	東京大学宇宙線研究所	岐阜県神岡鉱山の地下 1,000m 地点に、世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置を建設。 地下トンネル・空洞を建設し、実験施設を地下に設置するため、安全性への対応が必要とされることから選定。	1990～1995	検出器 直径 39.3m 高さ 41.4m	約 104 億円

3.対象プロジェクトの調査から整理されたリスクとその対応策

リスクの整理については、「図 6 ILC の建設スケジュール 基本計画から最終設計までの段階」を参考として、プロジェクトの進展の各段階で発生したプロジェクトの予算や工期に影響を及ぼしたと考えられる事象として整理した。

整理は、まず、“プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針”、“安全リスクへの対応方法”、“契約/調達リスクへの対応”の3つの軸で各プロジェクトの取り組みを整理した。

1) LHC (Large Hadron Collider)

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

CERN は、スイスとフランスの国境を跨り設置されている機関であり、LHC についても同様に、トンネルや実験設備等も国境を跨いでいる。

このことから、CERN における放射線防護を含む労働者(研究者を含む)の安全及び環境保護に係る基準は、CERN とスイス及びフランスとの三者間の取り決めに基づき、CERN が設定している。

三者間の取り決めの範囲は、労働者等の安全及び環境保護に係る基準、放射線防護等、プロジェクトのライフサイクル全般に関わる取り組みとされており、土木や建設工事の実施については、当該工事が実施されるスイス及びフランスの関係機関からの許可が別途、必要とされている。

②安全リスクへの対応方法

CERN における安全リスクへの対応は、所長(Director General)をトップとして、基本的に組織のヒエラルキーに沿った体制が構築され、職務に係る様々な指示・命令系統と同一の体制が敷かれている。

所長の直轄として、健康・安全・環境の専門組織(HSE ユニット)が組織され、この組織が中心となり安全全般に係る規定(放射線防護から職員の日々の健康管理まで)や文書の管理・公開が進められている。

LHC 計画を含む CERN で実施される全てのプロジェクトは、CERN 安全方針(CERN SAFETY POLICY)に基づく CERN 安全規定(CERN SAFETY REGULATION)により管理・運営がなされ、これらは基本的に ISO 等の国際基準に準拠した構成とされており、国際機関として参加各研究機関がなじみやすい規定づくりに配慮されている。

③契約/調達リスクへの対応

CERN では、膨大な調達に対して、効率的にコストを算出し、スムーズな契約に結びつけるため、コスト試算に関わる経験の蓄積(経験的ラーニングカーブ(Experimental learning curves)の活用など)を進めている。

また、建設中の技術的な困難やコストアップ、スケジュールの遅延等に対応するため、固定価格での契約や経年に渡る素材等の価格変動を踏まえた柔軟な契約といった手法の導入、CERN 内に様々な機器の開発や製造が可能な“CERN Factory”を設置し、専門家を招集、チームアップする仕組みも整えている。

建設のピークに対応するため、世界の研究機関から優れた研究者を期間限定で確保するプロジェクト・アソシエイト制度を導入し、研究機関に在籍しながら CERN で先端のプロジェクトに従事することができる仕組みを導入している。

CERN では、リスクを管理しつつコストを抑制する競争を軸とした調達戦略に基づく取り組みを進めている(作るか買うか、性能発注か仕様発注かなどを調達毎に検討)。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
設計		設計された当時に 3D での設計書が作成されなかったため、2 つの業者に委託したケーブル敷設で混乱が発生した。	現場対応が実施された。
契約		大量の汎用ケーブル(4,500km 分)の発注で、品質問題を抱えた。	現場対応で品質の確認が進められた。
工事建設	土木	地下空洞を支える柱建設中に予期せぬ岩盤が出現、柱の位置の移動に係る再設計実施、鉄骨梁の設置で鉄骨及びコンクリート補強分のコストが上昇した。	再設計の実施等に措置されていた予算が用いられた。
		CMS メインシャフトで大規模出水発生、新たな契約を締結し、地中凍結を実施した。	新たな契約の締結等に措置されていた予算が用いられた。
装置製造	製造	受託事業者の破産による磁石クライオスタットの供給が停止した。	CERN 内に生産工場を設置し、現地の労働者を活用し生産再開、予備費が用いられた。
設置		ヘリウム配管の敷設で受託業者が仕様を守らず、適切に機能しなかった。	CERN の専門家チームを組成し、受注業者と協力して解決策を見いだした。
		水冷・電力ケーブルの設置で受託業者の機械的な展望が未熟で設置できないという事象が発生した。	CERN の専門家チームを組成し、受注業者と協力して解決策を見いだした。
		超伝導磁石の電流コイルのケーブル結線部の 1 カ所で、不適切な溶接作業により発熱、アークに至り、結果ヘリウム容器に穴があき、冷却用液体ヘリウムが漏出した。	修理及びスペア磁石の活用、事象再発防止策を策定した。
		狭いトンネル内での設置のため、机上で想定した設置速度になかなか達しなかった。	経験により徐々に想定設置速度に達した。
		狭いトンネル内での設置のため、一つの機器の設置の遅れが全体のスケジュールを遅らせ、また、搬入機器の置き場に苦慮した。	後行程の見直しやいくつかのテストをキャンセルするなどに対応が図られた。
マネジメント体制	体制	CERN 最大出資国のドイツの東西ドイツ統一、及び他の出資国での EU 設立に係る国家財政の切迫により建設費不足となった。	完成時期延期と銀行ローン活用で建設を開始した。
		土木工事期間中のフランス労働法の変更により、労働時間が短縮し工期及びコストが増加した。	固定価格契約制度導入を検討(一部、実現)した。
	仕組み	研究員の多くが派遣先研究機関の雇用を維持したまま LHC 計画に参加することで、処遇の不公平さが顕在化した。	福利厚生の一部を共有する等の配慮を実施した。

2) EUROPEAN XFEL

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

EUROPEAN XFEL は、ドイツハンブルグに建設された施設であり、基本的にドイツ連邦、ハンブルク州、隣接するシュレーズウィヒホルシュタイン州等の規定を遵守している。

②安全リスクへの対応方法

EUROPEAN XFEL は、DESY が主導しつつ、建設から運営に至るまで非営利の会社組織である EUROPEAN XFEL GmbH が実施している。

EUROPEAN XFEL GmbH では、建設・運営に関わる取り組みをプロジェクトとして細分し、スケジュールやコスト、安全に関わる責任をプロジェクトリーダーが担うこととなっており、プロジェクトリーダーは、組織運営のボードメンバー等により構成される経営委員会に対する報告義務を負い、一方で、スケジュールやコストの管理、安全の遵守についてプロジェクトチームを動機づける義務も負っている。

安全性については、一般的な労働安全等に関する規定 (General Safety) と放射線防護に係る規定、安全な機器の開発・調達に係る規定の 3 つの部門に分けた規定により管理している。

トンネルという閉鎖空間での工事が主となることから、火災に対する備えが徹底されており、インターロックシステムの導入や安全地帯の確保、事象発生時のコミュニケーション手段の徹底などが導入されている。

③契約/調達リスクへの対応

EUROPEAN XFEL GmbH は民間組織として、マネジメントボードは、少なくとも年 2 回の定期的なプロジェクトのアップデートを行っている。

アップデートの対象はプロジェクトの組織(プロジェクトの進捗に応じた柔軟な組織変更を実施)、プロジェクトのスケジュール、プロジェクトのファイナンス(コスト管理のみならず、資金調達を含む)、人材の 4 つの部門に対して行われている。

プロジェクトの管理には、物理や科学に精通した DESY が積極的に関与しており、DESY の専門家チームがプロジェクトの効率的かつ効果的なアップデートの実施に貢献している。

特に EUROPEAN XFEL は In-Kind での貢献が多く、In-Kind の技術的な精査やその提供機関の状況など、物理や科学的な面と経営面での両面からの評価が不可欠であり、民間組織としての EUROPEAN XFEL GmbH と研究機関としての DESY の協力は良い連携を生み出している。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
契約		加速器の組立や試運転はフランスサクレ研究所での実施となっていたが、ドイツとフランス間の頻繁な物流によるコストを当初契約に見込み切れておらず、負担が増した。	結果としてドイツ側で物流費を負担することとした。
工事建設	土木	トンネル掘削時に地層の変化に掘削機のモーターが対応できず、圧力が高まり暴発、衝撃波が近隣に届き、警察や消防に連絡が入り、メディアが取り上げる事態となった。	原因の究明とその後の暴発箇所での対処、地域とのコミュニケーションを通じて工事に支障はなかった。
		防空壕と思われる地下空間がトンネル掘削の振動により陥没、当該地点が家庭の庭で丁度、子どもが遊んでいたが大事には至らなかった。	安全性確保に係る近隣住民及び関係政府機関との対話が進められたが工事に支障はなかった。
装置製造	製造	ロシアの貢献は当初 25%程度が考えられていたが、装置に使用する素材等の安全性基準がEUと異なる点(EU 基準での安全性が確認できない)、単一供給主体(軍需関連企業)で有事の際の対応が不明瞭なこと(供給の安定性が担保できない)、以上 2 点の理由から結果的に20%程度の貢献となった。	プロジェクトマネジメントの観点から、調達リスクを管理する目的で、個別機器の供給可能性を素材及び企業経営を対象として確認し、In-Kind の比率を減らした。

3) Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS)

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS)は、イタリアのラクイラ市とテーラモ市の間に位置するアペニン山脈の山頂下約 1、400m に設置されている研究所であり、基本的に同国法律等の規制を遵守している。

②安全リスクへの対応方法

National Institute for Nuclear Physics (INFN)が建設から運用に至るまでの各プロセスを主導しており、施設の安全性については、一般的な労働安全等に関する規定により管理がなされている。特に、一般車両も走行する高速道路と地下空間において連結していることから、消防にかかる体制やシステムについては、厳しい規定により管理・運用がなされている。

また、同施設が所在する一帯が強固な岩盤地帯であることから、特別な覆工等の補強をしていない素掘りトンネルの箇所が多くなっている。ただし、トンネルという閉鎖空間での工事が主となることから、火災に対する備えが徹底されており、インターロックシステムの導入や安全地帯の確保等が導入されている。

③契約/調達リスクへの対応

プロジェクトの管理には、INFN が積極的に関与しており、INFN の専門家チームがプロジェクトの効率的かつ効果的なアップデートの実施に貢献している。

高速道路をアクセス道路として使用する構造となっていることから、設備等の搬入や研究員の移動時に車両による地下施設アクセスが可能となっている。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
土地取得		研究施設建設にあたって、アクセスが容易で強固な地盤を有するサイトを選定する必要があった	強固な地盤を有し、高速道路トンネル整備が進められ、直接車両にて地下研究施設にアクセス可能なサイトを選定
工事建設	土木	地下研究施設建設のサイト検討において、既存の高速道路の地下トンネルを活用した施設整備と新たな地下掘削を伴う地下研究施設整備といった複数オプションから方針を決定する必要があった	コストや地盤状況、環境への影響、労働力の有効活用等の観点から検証が行われ、既存の高速道路の地下トンネルを活用した施設建設計画を採用
運転		近隣の自然公園が国立公園として認定されたことで、国立公園に影響を与えないような環境対策が必要となった	排水等のモニタリングの強化及び公表を実施

4) SPring-8

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

SPring-8は、1991年から日本原子力研究所(原研)と理化学研究所が共同で兵庫県播磨科学公園都市に建設を開始し、1997年より物理運転を開始した大型放射光研究施設であり、日本国内の法律、兵庫県の条例等の規制を遵守している。

科学技術庁(当時)傘下の研究所が建設する研究施設は自らの研究を実施することが原則だったことから、国内外の研究者や産業界のユーザーとへの開放を目的とする SPring-8 の共用を明確にし、施設の運営に対する国の責務および原研、理研、民間の責務を規定するため、1994年に「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」が可決された。

これにより、JASRI(公益財団法人高輝度光科学研究センター)が放射光利用研究促進機構として指定され、3者で施設計画を推進したが、効率的な運営を目的に、2005年10月に原研が撤退した。現在は、理化学研究所が施設者として包括的運営を行っており、SPring-8の運転・維持管理については理化学研究所から委託を受けたJASRIが行っている。

②安全リスクへの対応方法

SPring-8では、様々な大学や研究機関等から来所した多数のユーザーにより、多様な分野にわたる実験が行われていることから、SPring-8の運転・維持管理を行うJASRIによって、実験分野に応じて安全衛生委員会、事故調査委員会、放射線安全委員会等、合計9つの各種委員会が設置されている。また、ユーザーに対しては、「SPring-8安全の手引」の配布がなされている。

放射線安全関連の書類手続き等については、理化学研究所によって設置されている安全管理室がその業務を担っている。

SPring-8では安全性の観点から法令で規定された以上の放射線遮蔽設計を行うとともに、集中管理方式により、安全管理室に専任の放射線管理チームを置き、法令の限度基準を十分下回るよう厳重に放射線安全管理が行われている。

SPring-8施設の維持、法律で定められた受電設備の点検、ビーム性能の高度化を実現する加速器システムおよびビームラインの改善等の為、夏期、冬期、年度末に1ヶ月から2ヶ月程度の点検調整期間が設定されている。

③契約/調達リスクへの対応

SPring-8は周辺市町村の水源地の一角に位置していることもあり、サイト内の化学物資の使用についての管理を行うとともに、排水の水質モニタリング等の対応を実施している。

施設所有者である理化学研究所が作成している環境報告書において、SPring-8についても環境に関する取組み等の情報発信が行われている。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
土地取得		兵庫県から建設母体に対して土地の提供方法が検討されたが、地方財政特例法に日本原子力研究所が指定機関として明記されていたことから、自治体から原研への土地の無償譲渡は不可能であった。	兵庫県が理研に土地を現物出資(評価額 314 億円)したうえで、理研から原研に対して土地を無償貸与した。
設計	土木	140 ヘクタールの敷地には、強固な岩盤の「切り土」部分とその土砂で埋め立てた「盛り土」部分が存在した。	地盤変化による影響を軽減させるため、加速器は全て「切り土」部分に建設するレイアウトを採用した。
		設計場所に山(三原栗山)が存在したことから、それを踏まえた設計をする必要があった。また、強固な岩盤を有する三原栗山において、加速器施設を設置する下部岩盤を壊さずに、上部の岩盤を掘削しやすいよう破壊するのは相当高い技術が必要であり、大量のダイナマイトを使用する必要があった。	三原栗山も切り崩す予定であったが、経費節減のため切り崩さず、蓄積リングを、三原栗山を取り巻いて設置し、リングの内側への入射器の建設を断念した。
		設置場所の播磨科学公園都市は山崎断層に近く、施設に影響が生じる可能性があった。	一般的な調査に加えて常微振動測定、ボーリング調査、標準貫入試験等の特別な地盤調査を実施した。
建設	蓄積リング棟を切り出した岩盤上に直接建てることから地盤の影響を低減させる必要があった。	2カ所あった地盤の弱い破碎帯に対して盛土などの地盤改良による補強を実施。	
装置	原研と理研の両法人が共同で建設を行うことから、機器やシステム等のすり合わせが必要となった。	製造設備やシステム等の標準化・規格の統一化を実施した。	
	当初関西 6GeV 計画(想定コスト:623 億円)を引き継いで設計がなされたが、8GeV の計画(同:約 1,050 億円)に変更することが検討された。	8GeV で建設する事により、～100keV の X 線を無理なく発生することが出来るという理由を大蔵省(当時)に説明し、詳細設計及び見積もりを行ったうえで約 1,089 億円の予算承認を獲得。	

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
契約(建設分担)		予算要求に際して、理研と原研との間で大型放射光施設の建設分担を決定しなければならなかったが二法人間では決められなかった。	科学技術庁が仲介役となって協議を進め、両研究所の実績や経験を考慮して、入射器(線型加速器、シンクロトロン)は原研が担当し、蓄積リングは理研が担当するという建設分担の大枠を決めた。
工事建設	建築	建設資材等の輸送路に使用される一般道路において、夜間の資材輸送、輸送車両が原因の騒音等の交通障害が発生し、周辺住民から苦情が寄せられた	騒音対策として、工事時間帯を1時間短縮するとともに、輸送車両に対して速度制限を課した。
装置製造	製造	補正予算により「15ヶ月予算」として追加承認されたビームライン建設を短期間で、かつ共用運転と並行してのビームライン建設は困難が予想された	「共同チーム」による建設であったことから、事前に標準化・規格化を進めていたことで、仕様に則った効率的な製造が可能となり納期を遵守した
運転		SPring-8 サイト内にある兵庫県立大学のニュースバル(中型放射光施設)における火災発生(入射電磁石の焼損)により、SPring-8 本体に対する影響懸念及び対策の必要が生じた。	高度産業科学技術研究所と高輝度光科学研究センターによる「原因調査委員会」の立上げ、火災原因の解明、施設復旧を実施した。
		台風により、建屋の屋根の一部に上部破損が発生し、雨水が浸入した	施設の運転停止期間中につき安全上の問題はなかったが、被害原因に関する調査・修繕等の対策実施及び結果公表した。(工事費用は約6億6000万円)
		実験用低温容器(クライオスタット)の中に入っている金属ベリリウム製試料容器が破損し、その破片が飛び散り、近くにいた研究者2名が負傷した。	JASRI は、類似の実験用低温容器の使用者に対し、装置の緊急点検等の対策を講じさせるとともに事故調査の実施、調査結果を公表した。

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
マネジメント体制	体制	理研・原研の二法人が共同で建設を行ったことから、二法人間の経営スタンスの違い、研究開発・建設の取り組み方の違い、発注方式の違い等により、迅速な意思決定に支障が生じた。	大型放射光施設計画の推進に関する責任は両法人が分担して負うこととし、共同プロジェクトチームを設置して一体的に推進した。
		科学技術庁傘下の研究所が建設する研究施設は、原則として自らの研究を推進するためのものであるが、SPring-8 は共同利用施設として国内外の研究者や産業界に開放して科学技術の振興に役立てることを計画しており、SPring-8 を共同利用に供する仕組みと条件及びその運営のあり方を定義する必要が生じていた。	「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」を制定し、同法律に基づき、共用業務及び支援業務を行う放射光利用研究促進機構として、JASRI が指定された。
	仕組み	「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」が改正され、維持・管理等の発注スキーム等の再考を迫られた。	改正後の同法に準拠し、これまでの指定機関制度から登録機関制度へ移行、運営・維持管理業務は一般競争入札へ移行がなされた。

5) KEK-B

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

KEK-B は、1998 年度に高エネルギー加速器研究機構によって茨城県つくば市に建設された、電子・陽電子非対称エネルギーの円形衝突加速器であり、日本国内の法律、茨城県、つくば市の条例等の規制を遵守している。

②安全リスクへの対応方法

KEK-B は KEK 施設内に設置されていることから、KEK によって、具体的な安全の取り扱いを定めた危害予防規程や関係法令等に基づき、各種取扱主任者や安全責任者等が選任され、配置されている。

また、KEK では、KEK-B を含む実験設備の安全管理に関して、機構長のもとの安全・環境・衛生管理推進室、担当理事のもとの同実施室、安全委員会、放射線安全審議委員会、安全衛生推進室等が設置され、安全確保のための調査が行われ、施策が講じられている。

これらの組織と現場担当者は、常に連携し、講習、危険事象の情報共有、安全巡視、安全訓練等を実施している。なお、2013 年に KEK が運用している J-PARC において放射能漏洩事故が発生した際に、同施設に導入された労働安全コンサルタントによる調査が KEK-B に対しても試験導入された。

③契約/調達リスクへの対応

KEK-B は、環境影響評価法の対象外のプロジェクトであるが、環境リスクの低減や自治体・周辺住民への説明責任を担保するため、独自に環境アセスメントを実施した。

自然保護に関する対応については、工事の着手前に独自に調査を実施し、自然保護への影響が限定的、或いは皆無といったことを証明し、自治体や地域住民への理解を得る取組みがなされた。

地下水の浄化、給排水処理については、専門家や工事現場担当者から構成されるワーキングチームが設立され、国が制定している各種法(水道法など)に加えて、つくば市の地域条例に則って処理がなされている。

施設所有者である KEK が作成している環境報告書において、KEK-B についても環境に関する取組み等の情報発信が行われている。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
事前調査		事前調査におけるトンネル掘削時に地下水を汲み上げたことで周辺住民の生活用水の供給に影響が出た。	専門家や工事現場担当者から構成されるワーキングチームを設立し、対応した。
工事建設	建築	関東ローム層であり非常に軟らかい土壌に対して支柱の強度を保つ必要があった。	施設部分において最低 30m 程度のパイルを打って対応した。
運転		2011 年に運転中の加速器試験装置の電源装置から出火した事象があった。	火災のあった電源モジュールの設置場所は、加速器トンネル外で、火災の発生と同時に装置の運転は停止していたことから問題とならなかった。
マネジメント体制	体制	2004 年に大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構として法人化されたことで、法人格としての規制に遵守すべき事項が生じた。	労働安全衛生法をはじめ、法人に適用される法律を遵守した。
	仕組み	2013 年に KEK が運用している J-PARC において放射能漏洩事故が発生した際、KEK の他施設に対しても安全対策強化の動きが広がり、対応をする必要が生じた。	J-PARC に導入された労働安全コンサルタントによる調査が KEK-B に対しても試験導入された。

6) 東京湾アクアライン

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

アクアラインは、東京湾横断道路株式会社が建設し、1997年に開通した千葉県の本郷と神奈川県の大磯を結ぶ自動車専用の有料道路であり、日本国内の法律、東京都・千葉県・神奈川県・横浜市・川崎市の条例等の規制を遵守している。

東京湾横断道路の建設に関する特別措置法(1987年)が制定され、この法律に基づき、日本道路公団と東京湾横断道路(株)の間に「東京湾横断道路の建設に関する協定」が締結されたことによって、東京湾アクアラインの建設工事を東京湾横断道路(株)が担う事が決定した。

②安全リスクへの対応方法

東京湾アクアラインでは、作業現場で複数のJVが同時に作業すること、厳しい気象条件下での工事であること等を考慮し、工事災害の防止を徹底するために、発注者である東京湾横断道路(株)が工事安全対策本部および事故・災害対策本部を設置し、JVの自主的安全管理組織と相互に協力して安全管理を行った。

東京湾は船舶交通がきわめて輻輳し、また多目的に利用されている海域であり、大規模かつ長期のアクアライン建設工事がこの海域の海上交通に与える影響が大きいことが想定されたため、航行安全センターを設置する等、航行安全対策を策定・実施した。

当時においては前例が少ない工事(川島人工島の建設工事・シールドトンネル建設工事・軟弱地盤の改良工事等)が多く含まれていたため、東京湾横断道路(株)と施工者のJVが一体となって主要危険項目の抽出及び対策の検討・危険項目の影響評価等を行い、安全施工に努めた。

③契約/調達リスクへの対応

東京湾アクアライン建設が東京湾の環境に及ぼす影響が事前調査当初から懸念され、種々の環境調査が進められた。

1976年からは専門家の協力を得て委員会を設置し、水質・海洋生物・大気質などの現況解析及び影響予測を行った。1984年からは環境影響評価に関連する大気質・騒音・潮流・水質・生物などの現況調査と予測調査を実施した。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
アセスメント		建設地が複数の都道府県や市町村にまたがっており、各自治体によって環境影響評価に関する法規制の内容が異なるため、対応・調整の必要性があった。	相違がある箇所については国や自治体等と協議し、各相違点について対応方針を決定した。
設計	建築	初期案(1972)では川崎側と木更津側の両側を橋梁構造とし、中央部を沈埋トンネルとする予定だったが、船舶の航行の障害になる可能性が浮上した。	川崎側の構造を棟梁からトンネルへ変更し、トンネルの構造を沈埋トンネルからシールドトンネル構造に変更した。
設計	建築	大水深・高水圧下、地震多発地帯、軟弱な沖積粘性土が厚く堆積した地盤に建設されるという特徴があったことから、耐震性を強化する必要性があった。	当時一般的だった1パターンではなく、2パターンの設計用入力地震動を用いて、より高い耐震設計が実施された。
工事建設	土木	沈埋工法とは異なり、工法変更後のシールドトンネル工事から生じる掘削物は泥状であったため、法律上産業廃棄物扱いになり、廃棄コストが増加した。	シールド工法により泥水に溶かして運搬した土に生石灰を添加して、通常の土の性質に戻す処理を実施した。
マネジメント体制		一般の船舶航行だけでなく、大量の作業船(材料の運搬等)による海上輸送の安全を確保するために航行安全センターを設立し、さらに工事の進捗にあわせ新たに航行安全対策が必要になる場面があった。	関係者の意見を聴取し、海上保安庁や日本道路公団の指示・指導を受け必要な措置を講じた。

7) 青函トンネル

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

青函トンネルは、日本鉄道建設公団により建設され、1985年に開通した青森県東津軽郡と北海道上磯郡を結ぶ海底トンネルであり、日本国内の法律、青森県や北海道の条例等の規制を遵守している。

1929年の洞爺丸事故によりトンネル建設の気運が高まり、日本鉄道建設公団法(1964年)によって設立された日本鉄道建設公団に国鉄から調査が引き継がれ、建設工事が開始された。

青函トンネルは、全国新幹線鉄道整備法に基づいて1973年に整備計画が作成された北海道新幹線(新青森～札幌間)の運行が建設当時より考慮されており、新幹線規格での設計・建設が行われた。

②安全リスクへの対応方法

超大規模建設工事の指定、労働安全衛生法と関連法規の制定等に伴い、工事現場において統括的な安全管理を行うため、労働災害防止関連諸会議を整備し系統的な管理を実施した。また、青函トンネルは長大かつ海底トンネルという前例のない工事であり、事前に多くの問題点を調査・解明する必要があったことから、先進導坑の掘削は日本鉄道建設公団の直轄工事となった。

青函トンネル開通後も定期的な追跡調査(内空断面測定、地震防災システムの各種データ収集、湧水化学分析、コンクリート性状試験、止水注入材分析等)を実施し、トンネルの安全性を保っている。

③契約/調達リスクへの対応

海底トンネル掘削に伴う工事排水や異常出水に伴う緊急排水によって、周辺海域を汚濁した際には、漁獲量調査・漁獲影響調査等を実施し収入補填を行った。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
土地取得		取得予定用地の所有者との用地協議の難航、所有者の不在等により、用地取得が進まずプロジェクトの進捗が遅れる可能性があった。	効率的かつ円滑に事業を進めるために、土地収用法により公正な第三者の判断を得て、所有者等に適正な補償を行うことで措置を取得可能な土地収用制度を利用した。
契約		最初の工事実施計画を作成した時期から完成までの間に、物価高騰・異常出水等が原因で、実際の工費と当初予算の乖離が発生した。	当初の計画から3回の予算改訂を行い、その都度費用項目ごとの見直し・整理を実施した。
工事建設	土木	工事排水や緊急排水による周辺海域汚染を引き起こし、漁業への被害が発生した。また、工事起因の農業用水・家畜用水の減濁水及び地殻変動・建物の変状が発生した。	「公共用地の取得に伴う損失補償基準要綱(昭和37年閣議決定)」等の考え方を準用し、個別の案件毎に補償金の支払い等により対応した。
		軟弱・不良地質帯であったため、地盤の安定化や前方の地質状況の把握が不可欠な状況であった。	新技術(水平長尺ボーリング技術、吹き付けコンクリート工法)を導入し対応した。
		調査工事中に1回、本工事開始後に3回の合計4回の異常出水が発生(最大70t/min:吉岡作業坑)した。	設備の増強、緊急用資材の収集等によって対応した。
		当初計画では、トンネル内部に流入する湧水は、すべて地上にポンプアップして排水する計画であったが、永年的に運転経費が掛かり、膨大になるとことが懸念された。	止水注入技術を開発して、適用を図ることによって、トンネル内部に流入する湧水量を低減させ、運転維持経費の低減につなげた。
	建築	トンネル開通後の列車火災に備え、防災設備をより強化する必要があるがあった。	竜飛・吉岡海底部に乗客の避難誘導や消火作業を行うための場所(=定点)を整備した。
運転		開業から10年後の調査において、湿度と空気中の塩分濃度が高いことが原因の一部施設の老朽化が発見された。	国の補助金2/3、JR北海道の負担金1/3により、機能保全のため改修工事を実施した。

8) スーパーカミオカンデ

①プロジェクトの推進に係る法規制等への対応方針

スーパーカミオカンデは東京大学宇宙線研究所が岐阜県の神岡鉱山内に建設し、1995年に完成、1996年より運転を開始した世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置であり、日本国内の法律の規制を遵守している。

スーパーカミオカンデの建設工事においては、鉱山の採掘工事に関する鉱業法・鉱山保安法が適用された。

また、通常の鉱山採掘とは異なり、研究者の出入りや一般人の見学による出入りがあるため、建設された施設には消防法が適用される。

②安全リスクへの対応方法

地下 1,000m における巨大な空洞の掘削には崩壊リスクが伴うため、地質が一定の強度を持っていることが建設地選定において非常に重要であり、割れ目や不連続面が少なく片麻岩で構成され強度が十分な神岡鉱山をサイトに選定した。また、地下に実験施設が設置されており、施設内では、研究者や職員の移動を常にモニタリングできるように、入出坑管理システムを導入し、火災時の避難経路の確保のために、通常入坑する跡津通洞に加えて、茂住通洞を整備して、活用できるようにしている。酸素濃度が低下した場合には坑外でも検知できるように、酸素量モニターを整備している。加えて、火災発生時には消防等に迅速に通報できるような体制を構築している。

その他、坑内における安全管理の情報を、実験グループや鉱山を監視する神岡工業株式会社に共有するための安全協議会を月に 1 度実施している。

③契約/調達リスクへの対応

神岡鉱山は 1956～57 年頃をピークに発生した公害病のイタイイタイ病の原因となった場所であるという背景があることから環境配慮への意識が強く、掘削残土や坑内水の排出に関する安全管理体制を整備した。さらに、現在は排気ガス対策が施されている低公害バスの入坑のみが認められている。

④本調査を通じて把握された主な予算や工期に影響を及ぼした事象と採られた対応策の整理

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
工事建設	土木	地下 1,000m における建設工事であったため、巨大空洞掘削による崩壊リスクが想定された。	開口割れ目が少なく、強度が高い岩盤が分布する神岡鉱山を建設地に選定した。さらに、掘削後は、鋼製支保工を 1m 間隔で建込み、吹き付けコンクリートを施工することにより、掘削面の安定化に努めた。
		発破掘削による掘削面周辺の損傷や緩みの発生が懸念された。	特に、天井ドーム部の安定性の向上を図るために、掘削前にケーブルボルトを施工することによって、地盤の緩みの現象に努めた。
		上部から下部へ空洞の掘削が進むにつれて、掘削面からの湧水が増加し始めたため、その後の掘削工事への影響が懸念された。	湧水量を抑制するため止水グラウト工事を実施した。
運 転		観測開始から 5 年後の光電子増倍管の交換作業時に、過半数の光電子増倍管が破損した。	事故後しばらくは破損を免れた光電子増倍管に衝撃波防止ケースを取り付け、1 つおきに配置し、観測を続けた。 その後完全再建工事を実施し、当初とほぼ同数の光電子増倍管を整備した。

4.その他で対象としたプロジェクト

高山祭りミュージアム

①施設概要

高山祭りミュージアムは、岐阜県高山市に建設され 1997 年に完成した、岩盤地下空洞を利用した国内初の本格的な地下式美術館である。高山市で催される高山祭りは、京都の祇園祭り・秩父の夜祭りとともに“日本三大美祭り”の一つとして知られており、高山祭りで使用される祭屋台や御輿、屏風や大太鼓などの美術工芸品が展示されている。

表 20 高山祭りミュージアムの概要

項目	概要
実施主体	高山市(岐阜県)
概要及び調査対象とした理由	岐阜県高山市に建設され 1997 年に完成した岩盤地下空洞を利用した国内初の本格的な地下式美術館を建設。 岩盤地下空洞において建築基準法に準拠した設計により施設が整備されたことから選定。
完成時期	1997 年
施設規模	・アプローチトンネル:全長 70m ・半球ドーム状展示大空間:直径 40.5m、高さ 20m

出典 各種資料から NRI 作成

②工事の特徴(地震対策)¹

地上に比べ、地下空間は地震の影響を受けづらいため、地下発電所などに代表される岩盤地下空洞では、通常設計段階において、地震時の安全性が検討されることは少ない。

しかし、高山祭りミュージアムは国内で始めて地下大空洞に本格的に不特定多数の一般観客が入場する施設であったことから、安全管理面に十分配慮する必要があり、建築基準法に準拠した設計が求められた。

旧建築基準法 38 条の規定を受けて、平成 6 年 4 月に(財)日本建築センターに設置された高山屋台洞構造評定委員会と高山屋台洞防災評定委員会によって審査され、平成 6 年 10 月に建築構造物としての安全性が認められ、建設大臣の認定を取得するに至った。

¹国際リーニアライダー施設(ILC)の土木工事に関するガイドライン(2014 年 3 月/土木学会 岩盤力学委員会)

IV. ILC の建設・運用に係るリスクの整理とマネジメント

1. 地下空洞施設

ILC (250GeV ステージ) は、約 20km の直線状の加速器トンネル(主線形加速器とビームデリバリーシステムで構成)と、中央部の衝突実験ホールおよびのリング状加速器トンネル(ダンピングリング)で構成される。

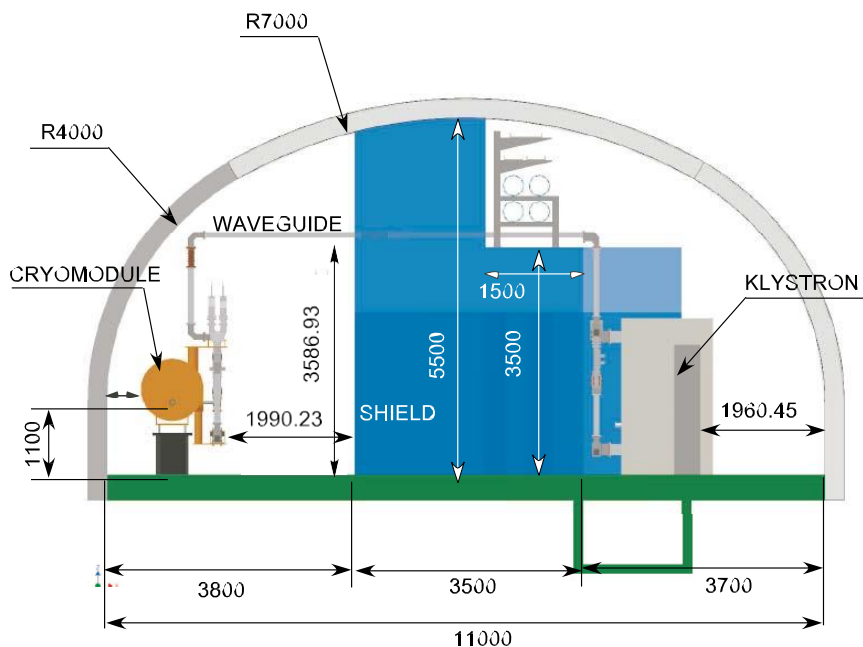
これらの施設は、その主要部が地下 25-637m以上の大深度に設置される長大トンネルおよび地下空洞などからなる大規模な地下構造物である。また、これらの地下施設へのアクセスは、平均約 5km 間隔で設置される最寄りの地上アクセス基地(約 10 箇所)からアクセストンネルや立坑などを經由して行なわれる。

[The International Linear Collider Technical Design Report 2013 における想定]

2.6.2 山岳地形サイト対応型設計(アジアのサンプルサイト)

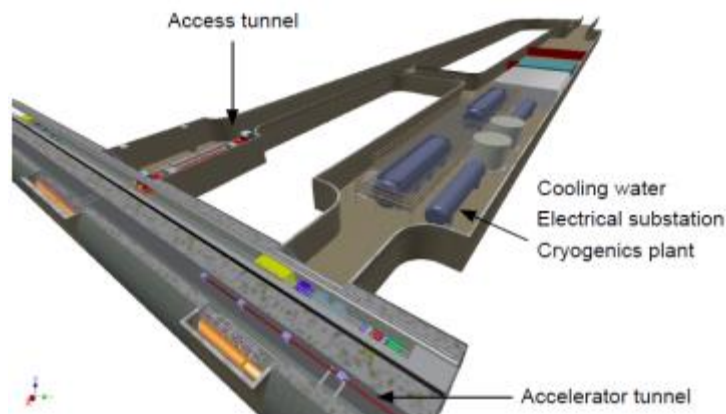
2 つの日本のサンプルサイトとして提案されている山岳地形については、加速器のインフラは主に地下空洞内に収容しなければならない。さらに、アクセスは、ゆるやかな傾斜の水平アクセストンネル経由で提供される。均一の硬い花崗岩の地質に対しては、NATM(新オーストリアトンネル工法)で建設される単一の幅広トンネルソリューションが、最も費用効率の良いソリューションである。加速器(クライオモジュール)および分散 RF 電源と関連電子機器の両方を収納するため、11m 幅のドーム型トンネルが掘り出される。トンネルは、加速器自体と RF 電源システム間のコンクリート遮蔽壁を取付けるのに十分な幅で、コスト効率の良い双設トンネルソリューションを効果的に提供する。図 2.16 は、トンネルの断面の透視図を示している。

図 2.16 山岳地形トンネルの断面(いわゆる「かまぼこ型」)。



クライオプラントおよび関連冷却および電力系統は、主加速器トンネルに隣接した空洞内に収容される(図 2.17)。単一の幅広トンネル構造は、加速器の全長にわたっているため、RTML(バンチ圧縮器)および中央領域における別個のサービストンネルの必要性がない。

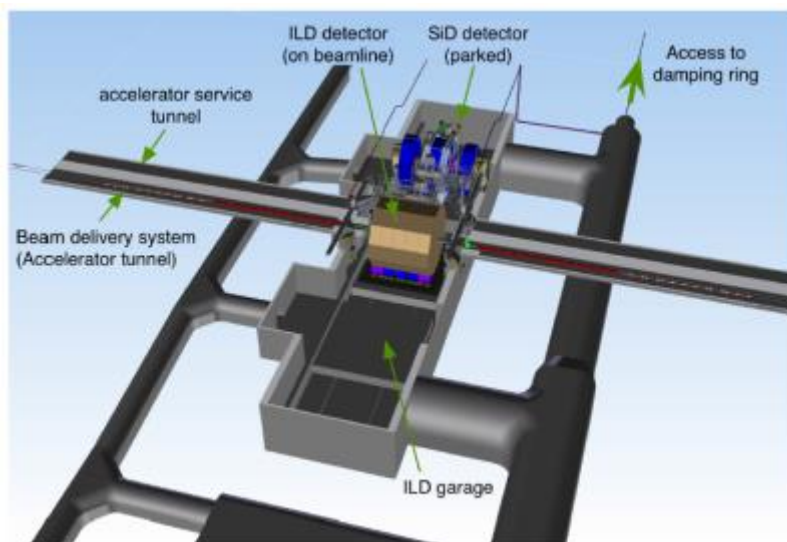
図 2.17 極低温プラント、電力および冷却システム用の地下空洞の配置透視図。



KCS システムを利用する平坦地形サイト設計と違って、山岳地形ソリューションは、すべての一次熱負荷を地下に配置し、RF 電源に関連したものは、線形加速器の全長に沿って配置する。これは機械および電気システムへの設計手法に影響し、平らな地形のサイトとは異なった、最適化されたソリューションをもたらす。

山岳地形での水平アクセスの必要性も、検出器ホールの設計に強く影響する(図 2.18)。CMS(コンパクトミュオンソレノイド)のような地上アセンブリは、この状況ではコスト効率が良いとは考えられないので、代わりに、地下ホールが、地下の原位置のアセンブリを収容するように設計されている。単一の幅広アクセストンネルは、制動環の設置にも役立つ。

図 2.18 2 基の検出器とサービストンネルがある、山岳地形用の地下検出器ホールの透視図



11.3 一般的なサイト要件

サイトは、当初の全長 31km に加え格上げした長さ 50km、さらに DR 用 IR 近傍の地域を収容できるものでなければならない。トンネルアクセス、サポート機器および地上建屋の要件を含める必要がある。

加速器を正確に運転するためには位置合わせと安定性が非常に重要である。さらに重要なのが IR 床の安定性である。それぞれ重量が約 15kt と 10kt の2つの検知器は、それぞれ重量が約 2kt のコンクリート製プラットフォームで支えることになっている。提案されたサイトの地質は、検知器の移動に適応できかつ

時間経過によって歪んだり、沈下することなく再位置決めできなければならない。

要求される電力は大きい。500 GeV (1 TeV) 運転時には、それぞれ約 161 MW (285 MW) 必要である。こうした要件は、ほぼ間違いなく既存の現地の電力系統容量を大幅に引き上げることになる。さらに、プロセス冷却用の安定した十分な水源が必要である。

掘削により膨大な残土が生じる建設段階および運用段階の両方において適切なアクセスが必要になる。トラック輸送道路と置き場所を特定する必要がある。コンポーネントの設置に関しては、道路で運ぶ可能性が高くサイトに至る道路は主要コンポーネントの長さ重量の要件を満たしていなければならない。特定のコンポーネントについては鉄道、飛行機および/又は船のアクセスが求められ可能性があり、主要空港への便利なアクセスは本格的な国際的なプロジェクトにするためにはぜひ必要である。

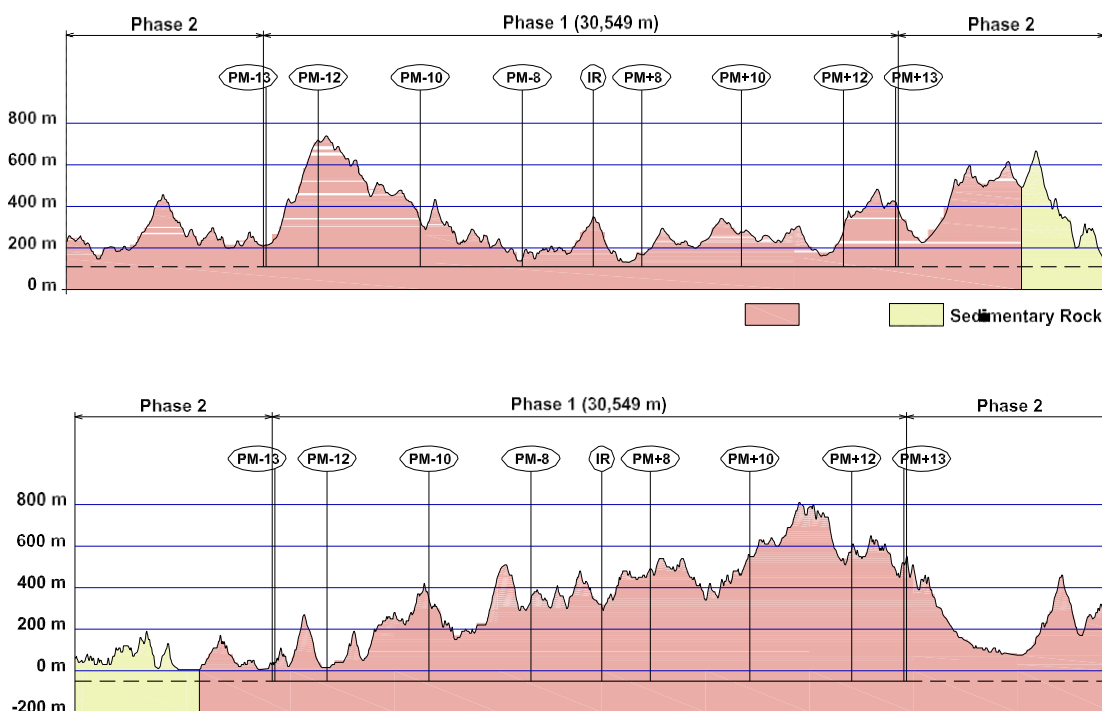
11.4.1.4 地質とトンネルの構造地質とトンネルの構造

両方のサイトのトンネルは堅固な花崗岩岩盤内に建設される(図. 11.3)。MLトンネルが 50km に延長された場合、一端は花崗岩岩盤を超えた堆積岩に延長されるが、その堆積岩も建設の安定した基盤になる。

MLトンネルは深さ 50m~400m の範囲内にあり、アクセスは傾斜が 10 %未満のトンネルによる。IRホール行きのアクセストンネルの最大傾度は 7 %である。

MLトンネルは「蒲鉾型」である。安定した花崗岩岩盤内でのロックボルトの補強は不要であるが断面が広がった場合は必要になる可能性がある。トンネル内部はコンクリートで裏打ちして防水されているので外部地下水は通常の排水設備で処理可能である。このアクセストンネルに防水は不要で内側は吹き付けコンクリートである。IRホールにはロックアンカー又はボルト補強が求められる。

図 11.3. (a)北上地域と(b)背振地域の標高。500GeV ベースライントンネル (phase 1)、さらに拡張して 1TeV に格上げ (phase 2)したものを示してある。Phase 1 にはアクセストンネルの間隔を示してある。

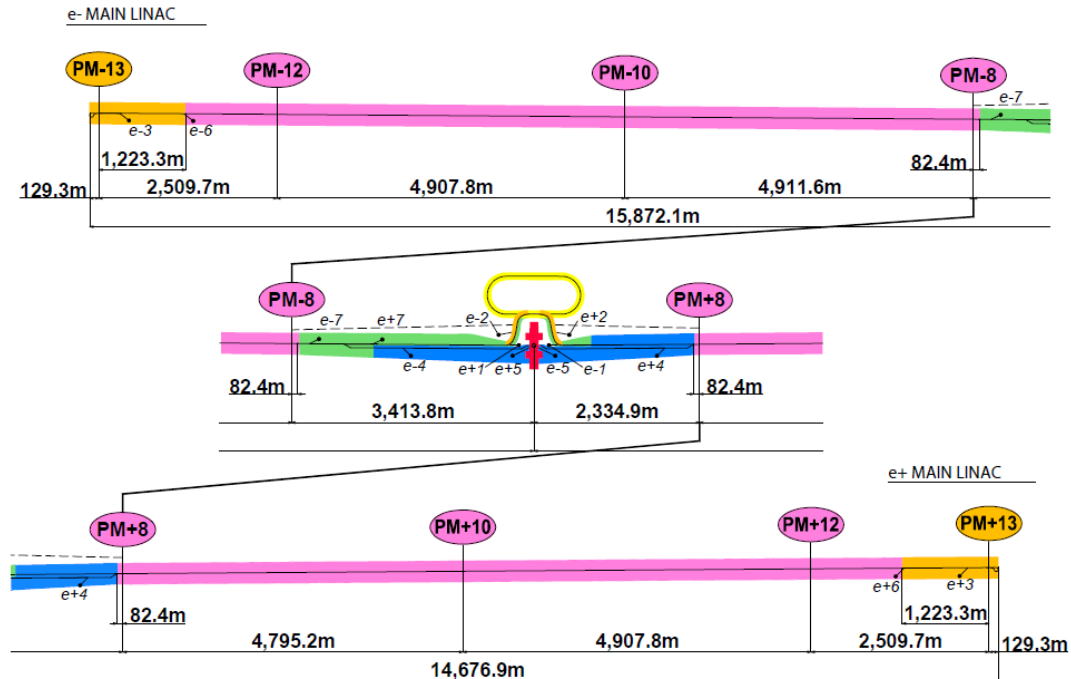


11.4.2 土木

日本のサイトは大深度地下なので、次のような独特な要件がある。

- ・ ML RF 電力は作業用坑道にある RF ソースを有する DKS により供給する。
- ・ 冷熱発電所の容量により地下構造を7つのゾーンに分け、それぞれの区画にはアクセスポイントから最大±2.5km のスパンを設ける(図. 11.4)。
- ・ 傾斜したアクセストンネルには、地下格納物に特別な設計さらに特別な設置方法が求められる。
- ・ 電氣的、機械的そして冷熱的な設備を地下空洞に設置する。

図 11.4.アジア地域の全体的なサイトレイアウト



11.4.2.3 地下領域へのアクセス

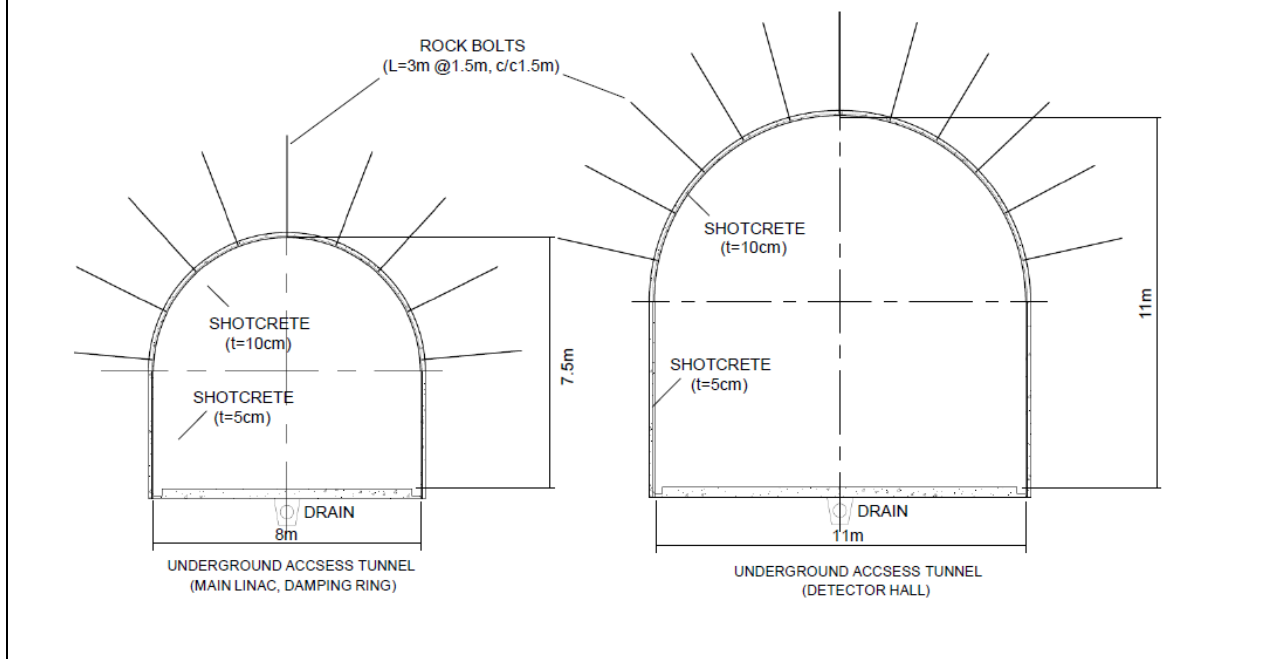
傾斜トンネルは地下施設のアクセスになる。アクセストンネルは 10 本あり、6 本は主線形加速器用、2 本は ILC 両端用そして 2 本は中央域用である。垂直立坑上のアクセストンネルの大きな利点は、垂直立坑を使って要員や機器を運送できることである。欠点は距離が長いことで、冷却/換気の配管やポンプの規模に影響する。代替手段にはボーリングマシンで掘削可能な小口径垂直立坑がある。

PM-13、-12、-10、-8、+8、+10、+12、+13 にある主線形加速器に沿った減衰リング用アクセストンネルになる 8 本のアクセストンネルには、内部幅 8m そして高さ 7.5m (図 11.9 左側)の蒲鉾型のセクションがある。そのトンネルは幅広く大型トラック 2 台がすれ違え、さらに歩道がとれるほど広く、また冷却水や換気用の大規模な配管設備を格納できる高さがある。IR ホールアクセストンネル(図 11.9 右側)は大規模で、地上の検知器組立用建屋から検知器ソレノイドを搬送できる。その幅 11.0m、高さ 11.0m である。また、減衰リングアクセストンネルも建設する。実際のサイトとトンネルのルートが決定された後、アクセストンネルの長さを平均 1km と仮定した場合、アクセストンネル 10 本の総延長と掘削容積は、それぞれ 10km と 643,000m³になる。

アクセストンネルの地上エントランスは、既存の道路の近くになる。エントランスを支持する建設物周囲の地上サイトは、将来的にはクーリングタワーなどの設備に利用する。トンネルの掘削は、深さ 20m までは土壌又は軟岩と考えられる地表面から開始される。トンネル壁はロックボルトで補強し、最大厚

さ 20cm の吹き付けコンクリートを施して工事は完了する。

図 11.9. 地下アクセストンネル



出典 The International Linear Collider Technical Design Report 2013/ International Linear Collider から仮訳

[The International Linear Collider Progress Report/July,2015 における想定]

4. 地質調査および土木工学調査

TDR に記した山間地での設計からの大きな変更点の一つに、加速器と測定器を設置する実験空洞へのアクセス方法が挙げられる。当初の設計では実験空洞は地下深くに作られることになっており、長いトンネルを通らなければアクセスできなかった。ILC の建設場所を最適化することにより、地表にずっと近い場所に実験空洞を設けることが可能となり、主要アクセスを CERN の ATLAS 検出器や CMS 検出器と類似した立杭に変更することができた[19]。この変更案に対し厳密な変更管理プロセスが承認前に実施され、変更により生じる得る一切の影響が最終決定前に文書に記録された[20]。この新しい設計は、ATLAS 実験や CMS 実験の経験からも推奨され、当初の設計と比べてコスト中立的である。実験ホールの新しい区域に対する地質調査が、同様に東北大学や岩手県からの支援を受けて今後継続される予定である。

変更管理手続きの対象となる 2 つ目の重要な変更は、主加速器トンネルを電子側、陽電子側両方とも約 1.5km 延長することを要請したことである[21]。その理由は 2 つある。一つ目は、衝突点で陽電子が電子と衝突するようにするために必要なタイミング制約に合わせ、ビームラインの全長を調整することである。2 つ目の理由は、必要な加速勾配である 31.5MV/m に達することが加速空洞製造期間全体を通して不可能な場合でも、最低限の費用でさらに多くのクライオモジュールを設置し設計エネルギーである 500GeV での ILC 運用が可能となるよう、十分な余地を確保することである。

この変更をコスト中立的なものとするために、トンネル設計上の別の変更が検討されている[22]。当初の設計では、ビーム稼働中を含め、サービストンネルに常に人員の立ち入りが必要となる想定となっていた。そのため、サービストンネルと加速器を分離する非常に厚い(3.5m)遮蔽壁が含まれていた。ビーム稼働中に全面的な出入りを可能にするという要件があれば便利にはなるが、他の加速器ではそのような必要性はこれまで一度もなかった。例えば、LHC では、ビーム稼働中の立ち入りは禁止されている、装置の信頼性が

大きく向上した現在、ILC についてもこの要件は削除可能となるだろう。人員の立ち入りが必要となるような加速空洞の調整などのハードウェアの試運転の際に必要な X 線遮蔽のみを確保すればよく、遮蔽壁を大幅に薄くすることが可能である。これによりトンネルの断面を小さくしてコスト低減ができる。変更管理手続きにおいて全面的に承認されれば、この変更がベースライン設計に反映される。

[19] CR-0003, “Detector hall with vertical shaft access”, ILC-CR-0003, ILC-EDMS, No.D*0108475 (2014), online available:<https://ilc-edmsdirect.desy.de/ilc-edmsdirect/file.jsp?edmsid=D00000001084745>
<http://ilcdoc.linearcollider.org/record/61704?ln=zh>

[20] CR-0003, “Report by Change Review Panel”, EDMS--ID D*01092735 (2015), online available: .
<https://ilc-edmsdirect.desy.de/ilc-edmsdirect/item.jsp?edmsid=D00000001092735>
<https://agenda.linearcollider.org/event/6557/session/7/contribution/55/material/slides/1.pdf>

[21] CR-0004, “Extension of the electron and positron main linac tunnels approximately 1.5 km”, ILC-CR-0004, ILC-EDMS No. D*01092915 (2014), online available: .
<https://ilc-edmsdirect.desy.de/ilc-edmsdirect/file.jsp?edmsid=D00000001092915>
<https://agenda.linearcollider.org/event/6557/session/7/contribution/50/material/slides/1.pdf>

[22] V. Kuchler, CR in preparation, “Kamaboko tunnel cross section”, ALCW2015, KEK (2015) URL available: . <https://agenda.linearcollider.org/event/6557/timetable/#20150421>
 E.Paterson, “Availability consideration for reduced “Great Wall” width”, ILC-ADI meeting, 2 July (2015), URL available: <https://agenda.linearcollider.org/event/6810/>

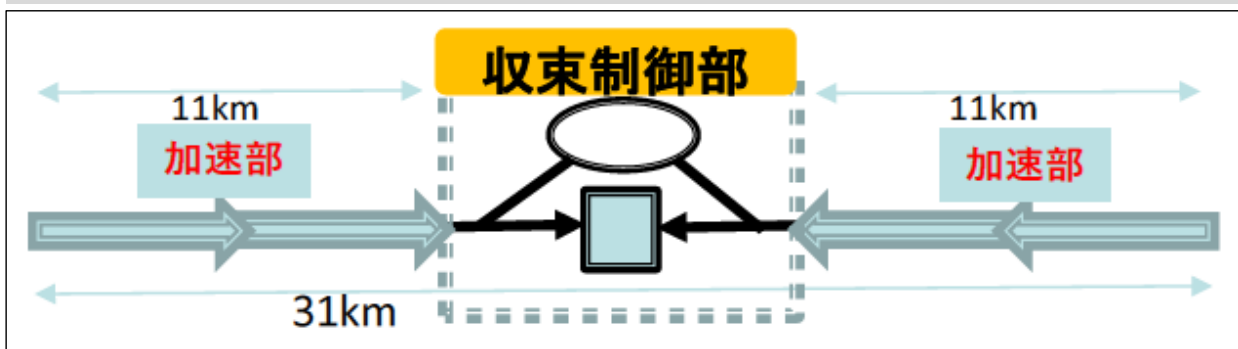
出典 The International Linear Collider Progress Report/July,2015/ International Linear Collider から仮訳

リニアコライダーワークショップ 2016:LCWS2016 (における提案(再掲))

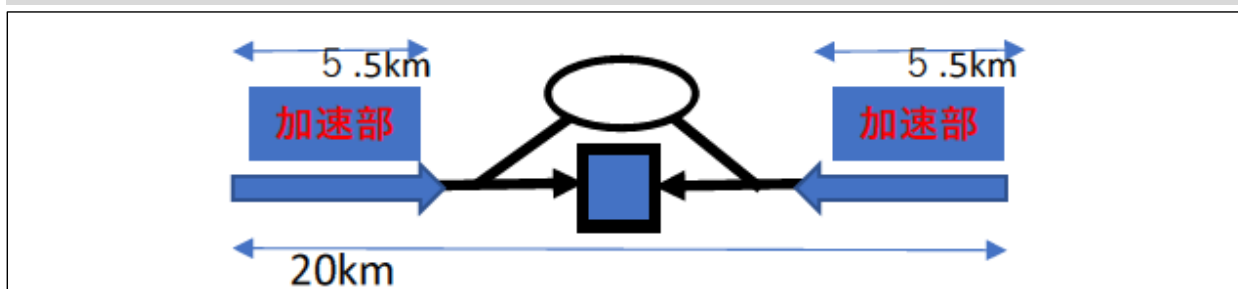
2016 年に開催されたリニアコライダーワークショップ 2016:LCWS2016 では、TDR をベースとして、いくつかの仕様変更が検討された結果として、トンネルの全長が 20.5km、衝突エネルギーで 250GeV とする“ILC ステージング型(ミニマム型)”が提示されている。

図 14 提案された“ILC ステージング型(ミニマム型)”

■ これまで検討されてきた案(2007-2016)

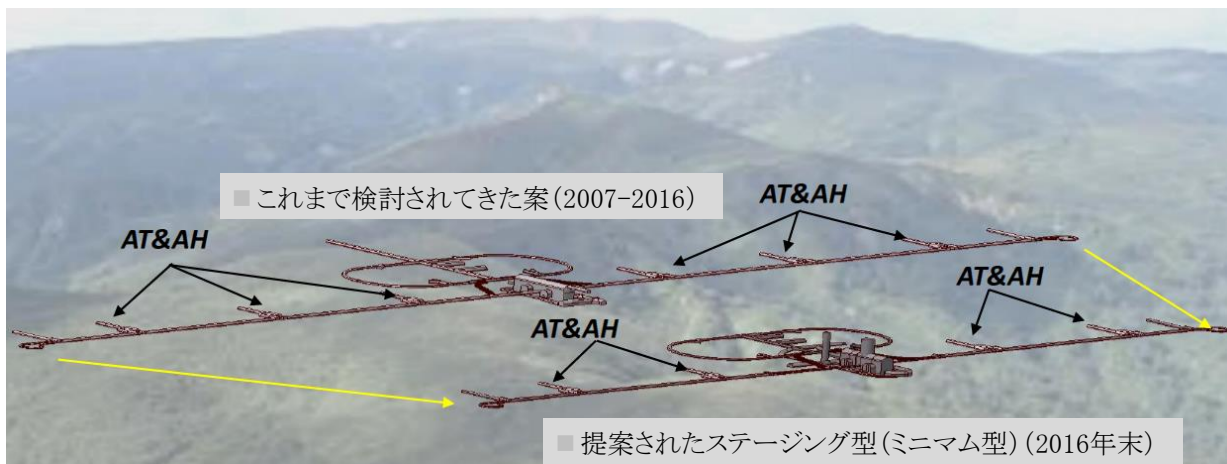


■ 提案されたステージング型(ミニマム型) (2016年末)



出典 リニアコライダーワークショップ資料3/文部科学省から NRI 作成

図 15 提案された“ILC ステージング型(ミニマム型)”のイメージ



出典 宮原 正信/高エネルギー加速器研究機構から NRI 作成

1) 加速器トンネル

① ILC における想定 (出典 ILC 施設設計の現状/宮原正信、山本明、佐貫智之/2015)

■主線形加速器

主線形加速器(Main Linac:以下 ML)は、電子ライナックと陽電子ライナックの二つの線形加速器で構成される。これらの加速器トンネルは、ビーム軸方向上での直線性を厳密に要求される。中でも、電子・陽電子の二つの ML トンネルは、地球のジオイド面に沿った水平性が求められる。これは、ビームライン全長に渡って設置されるクライオモジュールに内蔵する冷却用ヘリウム配管内の液面の水平性を確保するためである。また、ML から衝突点に向かうトンネル部(BDS)は、平面的にも縦断的にも厳密な直線性(レーザーストレート)が要求される。

ML トンネルの標準断面は断面中央部に 3.5m 厚のコンクリート隔壁を設置し、ビームライン部と高周波装置部の二つの空間に区画される。この隔壁は、ビーム運転に伴う放射線の遮へいを目的とするほか、火災やヘリウムガス漏洩などの非常時には、煙の遮断によって片側のトンネルが避難路となり防災上の冗長性を確保することができる。また、底盤コンクリート(床版)の下部には、周辺からの地下水(湧水)を集めて坑外に排出するための導・排水用トレンチが付設される。

MLトンネルは、縦断勾配がほとんどない状態になるため、トレンチ内に集められた湧水は自然流下しないため、ポンプリレーなどによって坑外まで搬出できるようにする必要がある。このとき、放射化が懸念される加速器側の湧水と放射化の問題が少ないサービストンネル側の湧水を混合して、坑外へ搬出するかどうかを検討する必要がある。

■ダンピングリング

ダンピングリングは、レーストラック型の平面形状で、電子リングと陽電子リングが同じトンネル内に2層に設置され、電子ビームと陽電子ビームが反対方向に周回するシステムである。なお、リング部のトンネル断面は比較的小さな断面であるが、高周波機器・電源が設置される直線部は ML と同じ大断面トンネルで計画されている。

■ビームデリバリーシステム

ビームデリバリーシステム区間には、単にビームを輸送する機能だけではなく、電子源、陽電子源、ビームダンプが配置される他、ビーム診断セクション、ビームコリメーション、最終収束ビームライン等の多岐に渡るビームラインが配置される。このように、BDS は極めて多種多様な機能や機器群が配置されるため、TDR 日本案では各々内空幅 8.0mおよび 4.5mの二つのトンネルが並行するツイントンネル構造で計画されている。なお、現状で、シングルトンネル案への変更を求める要望が出され、議論と技術検討が継続されている。

② ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

地下空洞の耐震設計に関して、明確に規定されている法・規制等は存在していない。しかし、常時一般による入退場がなされる施設となるため、地上建築構造物に適用されている建設基準法等に即した耐震設計が求められる可能性がある。また、適用されない場合においても、管轄自治体との協議結果によっては、同等の基準類が適用される可能性がある。

また、建設地点全域にわたって、掘削深度や地上施設の状況に応じた地上権や区分地上権を設定して、

土地の所有者との具体的な協議が必要となる。

加速器トンネルは、地下空間になるため、地上施設に比べて、環境影響評価法に規定されている環境アセスメントの適用範囲が狭くなる可能性がある。他方で、ILC 施設は、建設や運用面で環境に与える影響が大きく、また、近年の管轄自治体や地域住民の環境に対する関心が高まっていることから、独自に環境アセスメントの実施や自主規制を設けて、社会への説明責任を果たすことが重要となる。

■ 予算や工期への影響が懸念される点と対応策

加速器トンネルの掘削に際して、予期せぬ断層破碎帯の出現や大量湧水、異常出水による掘削工事への影響が挙げられる。これらの掘削作業中に遭遇する事項については、事前調査でも十分に明らかにされることが難しい。このため、掘削作業への影響を少ない程度の前方地質調査手法を組み込むと共に、変状現象に遭遇したときには迅速な対応が取れるように、可能な範囲で事前準備を整えておくことが重要となる。

また、掘削工事においては、大量の掘削残土が発生することになるため、できる限り早い段階に有効利用を含めた処理方法や処理場所の確保をしておく必要がある。特に、一部区間の掘削残土に重金属等が含まれる可能性があるため、その処理方法等についても検討し、関連機関との事前協議を進めておく必要がある。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[設計時:LHC における設計図面の不備による工事への影響]

・ LHC では、ケーブル敷設について 3D の設計図が用意されていなかったことにより、敷設を委託された 2 つの事業者で、敷設現場にて混乱が発生している。また、大量の汎用ケーブルの発注で、品質のばらつきが発生した。これらは、全て現場で対応がなされたが、工期の遅れに繋がりがねない事象である。

[施工時:LHC における予期せぬ断層等の出現による工事への影響]

・ 事前の地質調査では確認されていない LHC でも地下空洞を支える柱建設中の断層の出現などが発生しており、その都度、コストの上昇と工期への影響が発生している。

[施工時:LHC におけるトンネル内工事での遅延等による工期等への影響]

・ トンネル内への設備等の設置においては、ヘリウム配管で仕様を守らない敷設が実施され、適切に機能しなかったり、冷却ケーブルの敷設で受託者側の技術的な見通しが不十分で設置できないという事象、さらに、狭いトンネル内での作業のため、机上で想定した設置速度に到達しないなど、トンネル内の一つの作業の遅れが連鎖的に工期全体を遅らせるような事例も発生している。狭いトンネル内で、設置待ちの装置や設備の置き場所等についても苦慮している。

2) 衝突実験ホール

① ILC における想定 (出典 ILC 施設設計の現状/宮原正信、山本明、佐貫智之/2015)

実験ホールは、電子と陽電子ビームラインの交点(ビーム衝突点)を中心点とし、ビームライン軸と直行方向に配置される地下空洞である。空洞は幅 25m 高さ 42m の弾頭型(アーチ+垂直壁)断面を有し、全長 142 m に及ぶ大空洞である。この実験ホールには、二つの測定器(ILD、SiD)が配置され、プッシュプル方式で交互にビームライン上に移動して衝突実験に供用する計画である。

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

広域に渡って掘削される加速器トンネルと同様に、大規模に掘削される衝突実験ホールについては、掘削工事に伴う地表部や地下水等への影響が顕在化する可能性がある。掘削工事により影響を受けた場合、現状復帰への対応や補償を求められる場合、これらの補償方針等に関する規制や契約等を事前に設定しておくことが望ましい。

また、ILC の運用時においては、常時一般による入退場がなされる施設となるため、地上建築構造物に適用されている建設基準法等に即した耐震設計が求められる可能性がある。また、適用されない場合においても、管轄自治体との協議結果によっては、同等の基準類が適用される可能性がある。

■予算や工期への影響が懸念される点と対応策

上述のとおり、衝突実験ホールの掘削工事や運用に際して、地表部や地下水等の周辺環境に補償が必要な事象が発生した場合、コスト増や対応に伴う工期への影響が発生することが想定される。また、衝突ホール掘削時における予期せぬ断層破碎帯の出現や大量湧水、異常出水による予算や工期への影響が挙げられる。これらの掘削作業中に遭遇する事項については、事前調査でも十分に明らかにされることが難しい。このため、掘削作業への影響を少ない程度の前方地質調査手法を組み込むと共に、変状現象に遭遇したときには迅速な対応が取れるように、可能な範囲で事前準備を整えておくことが重要となる。また、掘削工事においては、大量の掘削残土が発生することになるため、できる限り早い段階に有効利用を含めた処理方法や処理場所の確保をしておく必要がある。特に、一部区間の掘削残土に重金属等が含まれる可能性があるため、その処理方法等についても検討し、関連機関との事前協議を進めておく必要がある。

現時点では、ILC の構造仕様や建設サイトが確定されていないが、地下空間の建築地点における地形・地質・環境の調査や試験を実施して、その結果に基づいて基本・実施設計や詳細設計を行う必要がある。特に、衝突実験ホールでは、岩盤の実質部や破碎帯や貫入岩の有無だけでなく、岩盤の割れ目の頻度・連続性、その性状等を把握し、掘削後だけでなく地震時の空洞の安定性についても検討する必要がある。

3) アクセストンネル・立坑

①ILC における想定 (出典 ILC 施設設計の現状/宮原正信、山本明、佐貫智之/2015)

■アクセス用トンネル

加速器トンネルや実験ホールに主要機器を搬送するためのアクセストンネルは、搬送機器の種類やサイズに応じて加速器用と実験ホール用の 2 種の断面で計画されている。また加速器用アクセストンネルはクライオモジュールの搬送条件からトンネルの最大勾配は 10%以下に制限される。また、実験ホール用アクセストンネルは、大型測定器の搬送条件から 7%以下と計画されている。

現在、ディテクターは、地上で組み立てられた後に、実験ホールの直上に設けられた立坑から入搬出する計画になっている。

■実験ホールへのアクセス施設 (立坑導入)

衝突実験ホールに設置される超大型の二つの測定器(ILD/約 15,000t、SiD/約 10,000t)を、地下実験ホールに設置するための搬送経路や手法に係る検討が継続しており、衝突点を移動することによって、立坑設置の長所・短所を総合的に検証し、立坑導入を前提にした変更計画案を提示するに至った。

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

地下空洞の耐震設計に関して、明確に規定されている法・規制等は存在していない。しかし、常時一般による入退場がなされる施設となるため、地上建築構造物に適用されている建設基準法等に即した耐震設計が求められる可能性がある。また、適用されない場合においても、管轄自治体との協議結果によっては、同等の基準類が適用される可能性がある。

また、建設地点全域にわたって、掘削深度や地上施設の状況に応じた地上権や区分地上権を設定して、土地の所有者との具体的な協議が必要となる。

加速器トンネルは、地下空間になるため、地上施設に比べて、環境影響評価法に規定されている環境アセスメントの適用範囲が狭くなる可能性がある。他方で、ILC 施設は、建設や運用面で環境に与える影響が大きく、また、近年の管轄自治体や地域住民の環境に対する関心が高まっていることから、独自に環境アセスメントの実施や自主規制を設けて、社会への説明責任を果たすことが重要となる。なお、地上施設に比べて、地形改変が少なく、周辺環境への影響は少ない。しかしながら、環境影響評価の結果によっては、猛禽類の生息などへの影響などを低減させるために、しばしば工事が中断される可能性が残されている。

■予算や工期への影響が懸念される点と対応策

坑口部は、地表部分に造ることになるため、工事中や運用中に周辺環境に与える影響は大きい。そのため、工事対象となる坑口周辺や掘削残土の捨て場等において、事前の環境調査を適切に行い、法面崩壊や土砂災害の対策を行う必要がある。工事中や実験中の装置や機械や資機材の入搬出や関係者の入退場だけでなく、災害時の救急隊や資機材の入搬出や排煙・換気や避難通路にも活用されることになるため、事前に研究所内だけでなく、消防署や自治体などの外部関係機関との幅広い意見交換することが重要となる。さらに、トンネル掘削時の突発・大量湧水や大規模岩盤剥落等の事態が生じた場合の対応については、加速器トンネルや実験ホール同様に、事前に対応の方向性については検討しておく必要がある。

また、地上施設が計画されている場所に関しては、活用の方法や期間を考慮して、借地・買収などの方法を検討することになる。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[施工時:LHC における予期せぬ断層等の出現による工事への影響]

・LHC では CMS メインシャフトでの大規模出水などが発生しており、その都度、コストの上昇と工期への影響が発生している。

4) 放射線防護

①ILC における想定 (出典 国際リニアコライダー計画/Advanced Accelerator Association ホームページ

(<https://aaa-sentan.org/ILC/about-ilc/faq/>))

ILC の加速器トンネル内は加速器の運転中に、電子線の加速に伴い、X 線等の放射線が放出されるため、放射線管理区域として管理される。

ILC の施設から放射性物質が漏洩する可能性としては、放射化により発生した放射性物質(放射加水等)が管理区域外へ放出される場合が想定されている。日本における ILC 加速器トンネルは、深い地下に設置され、必ず、長いアクセストンネルまたは排気ダクトを経由することになる。この間に排気空気のモニター、フィ

ルター等を設置することで、外部／一般大気への汚染空気の排気を防止する。また、冷却水は閉じた経路で管理区域内を循環させることで、管理区域外へ漏えいを防止する。

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

放射線防護については、放射線障害防止法といった関連法規制を遵守し、放射線管理区域の設定等の諸対応を行うことが求められる。放射線障害防止法で規定されていない事項についても、放射線に関連するリスクイベントの顕在化が地域社会に与える影響は大きいため、独自の規制や規定を設定しておく必要がある。

■予算や工期への影響が懸念される点と対応策

放射化した地下水が、広域に移動することがないように、適切な対応策を実施し、その効果を長期間に渡って継続的にモニタリングを行う必要がある。現時点の ILC 計画は、実験終了時の施設の取扱いについての検討が深まっていないが、今後、ビームダンプ装置をはじめとする実験装置や空洞について、実験終了後も含めた長期にわたる維持管理方法の検討が極めて重要になる。

5) 地震

①ILC における想定(出典 ILC 施設の土木工事に関するガイドライン策定/宮原正信/2014)

ILC 施設の土木工事に関するガイドラインでは、加速器トンネルと実験ホールについて、レベル 1(当該地点における過去の事象から想定される供用期間中に一回は起こるであろう地震動)とレベル 2(当該地点において起こったであろうもしくは起こるであろう最大の地震動)の地震を想定した耐震性を備えた地下空洞の設計法の考え方を示している。

ILC 施設は、常時機器設置やメンテナンス作業に多数の人が長時間従事することや、供用開始後も関係者が随時アクセスすることなどに着目し、地震時における安定性の確保を最重要課題と位置付け、通常の岩盤地下空洞とは違って、建築基準法に準じるような高い耐震性能の確保が求められている。

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

地下空洞の耐震設計に関して、明確に規定されている法・規制等は存在していない。しかし、常時一般による入退場がなされる施設となるため、地上建築構造物に適用されている建設基準法等に即した耐震設計が求められる可能性がある。また、適用されない場合においても、管轄自治体との協議結果によっては、同等の基準類が適用される可能性がある。(本調査では調査対象プロジェクトではないが、J-PARC においても、主事(県知事)との協議の結果、地上構造物と地下施設が一体の施設であるとの判断がなされ、地下施設に対しても建築基準法が適用されたケースがある)

特に、衝突実験ホールとその周辺は、掘削断面が大規模になるだけでなく、様々な断面の空洞やトンネルが錯綜することになる。また、一般見学者の出入りだけでなく、大型のディテクタなどの実験装置が設置されることになるために、入念な耐震設計が必要とされることになる。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[ILCの実験ホールにおける建築基準法に準拠した耐震設計の必要性の検討・協議]

- ・一般的に地下空間は地震の影響が少ないとされているため、地下空洞設計において、耐震設計が導入されている例は少ないが、長期にわたって研究者が滞在する実験ホールについては、建築基準法令及び構造物設置基準等の対象となる可能性がある。そのため関係行政機関等との協議が必要である。

[設計時:高山祭りミュージアムにおける建築基準法への準拠による工期への影響]

- ・高山祭りミュージアムは、国内で始めて地下大空洞に本格的に不特定多数の一般観客が入場する施設であったことから、安全管理面に十分配慮する必要があり、建築基準法に準拠した設計が求められた。前例がなかったため、特に入念に特定行政庁との事前協議や審査・認定等を行った。

■予算や工期への影響が懸念されると対応策

地震については、建設地点によって、想定されるリスクが大きく異なる。実際の建設地において詳細な地質調査を実施し、地形や地質状況(割れ目や不連続面の分布や性状含む)等を把握した上で地震リスクの検討・耐震設計を行う必要がある。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[設計時:SPring-8における周辺断層の存在による工事への影響]

- ・同施設の設置場所である播磨科学公園都市は、山崎断層に近かったことから、南海トラフ地震等の大地震が施設に影響を与える可能性があった。そこで、通常的地盤調査に加えて、常微振動測定やボーリング調査、標準貫入試験等の地盤調査も追加的に実施された。なお、蓄積リング棟は切り出した岩盤上に直接建てる必要があったことから、施設内に2カ所見つけた地盤の弱い破碎帯については地盤改良を行った。

[運用時:KEKにおける震災被害による周辺住民への影響]

- ・2011年3月11日に発生した東日本大震災の影響により、KEK-B主リングのエキスパンションジョイント部分における地下水の漏水や床面の盛り等々の損害が生じた。このため、KEKは、早急に施設の損害状況及び原因特定のための調査を実施した。
- ・震災当時は施設の高度化工事中だったため、ビームパイプ等はすでに大気開放されていた区間が多く、揺れによる破損等の被害はあったが、真空が急激に破れることによる被害の拡大には至らなかったが、周辺地域・住民の心配を考慮し、被害状況を公表する対応を採った。

6) その他自然災害・防災

①ILCにおける想定(出典 ILC 施設設計の現状/宮原正信、山本明、佐貫智之/2015)

加速器トンネル(MLトンネル)の標準断面は、断面中央部に3.5m厚のコンクリート隔壁を設置し、ビームライン部と高周波装置部の二つの空間に区画される。この隔壁は、ビーム運転に伴う放射線の遮へいを目的とするほか、火災やヘリウムガス漏洩などの非常時には、空気の遮断によって片側のトンネルが避難路となり防災上の冗長性を確保することができる。

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

防災について、地震については別掲していることから、事故や人為的なミス等に伴う火災が主な対象となる。火災については、わが国の場合、消防法等の関連法・規制に加え、自治体によっては、地域防災に関わる条例がその対象となる。

ILC 計画では、協定等に基づいた国際機関が設置されることになっているため、さまざまな参加国の研究者や技術者が当該施設で活動することに留意して、普遍性をもった防災体制の確立が求められる。また、地域社会と一体となった防災体制の導入が必要となる。つまり、防災に関しては、国際機関として独立した取り組みではなく、地域社会との連携が不可欠になるため、地域社会と密に連携した、継続的な防災体制の構築と地域社会との情報共有やコミュニケーションが重要となる。特に、ILC 施設は複数の行政区間にまたって整備される可能性があるため、災害発生時の通報先・通報方法・出動要請方法等の情報共有や、救急・消防隊の進入経路及び救助者の搬送方法等の対応についても、関係消防本部や自治体との事前協議が必要である。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[消防法に関連した ILC 研究所内及び対外機関との連携に係る組織・体制作り及びその運用]

- ・ ILC 計画は多くの地上施設で消防法の防火対象物としての適用を受けると考えられ、また、放射線を伴う地下施設については、地域の消防との関係が不可欠になると考えられる。
- ・ CERN に見られるように、所長(Director General)をトップとした組織のヒエラルキーに沿った指示・命令系統を備えた体制の構築、規定を策定し日常・平時も含めた防災活動を推進することが重要となる。例えば、外部の機関と連携した所長直轄組織の設置、様々な国の人々が理解し行動することができる ISO 等の運用及びその文書管理等を行う電子システムの構築などが必要になると考えら、コスト及び時間の双方で十分な明確な準備期間を設ける必要がある。

[防災関連条例に適用するための組織作り等に係る工期への影響]

- ・ ILC 計画では、新たな都市が形成されることとなり、自主的な防災組織の設置が求められる場合がある。
- ・ 例えば、岩手県では「みんなで取り組む防災活動促進条例」において「自主防災組織等及び事業者の責務」が規定されており、ILC 事業者にも、組織作りに留まらず、地域の防災のための仕組みや機器の導入など、新たに作り出す都市の風土と規模に見合った積極的な参加が求められることとなる。

■予算や工期への影響が懸念される点と対応策

地震・火災の他にも、ILC 施設内への浸水や停電・ヘリウムリーク等の災害が発生するリスクが存在する。これらのリスクを想定した綿密な防災設計及び各種防災対策設備の整備が求められる。

集中豪雨や洪水・地下水の進入・配管の漏水等により発生する ILC 施設内への浸水は、ILC 施設が地下構造物であることから被害が拡大しやすく、施設内の入坑者の安全が脅かされることに加え、実験機器の故障等の施設への影響も生じる可能性がある。そのため、坑口からの地面水の浸入を防ぐために坑口部の防水対策(例えば、窪地等水を集めやすい地形を避けた位置に坑口部を設置)を施すとともに、十分な止水設備・排水設備を整備することが必要である。

また、ILC の地下空間施設では、移動手段・照明・換気設備・避難・防災設備等、電力の供給によって機能し

ている設備が非常に多く、停電によって各種設備の停止及びそれに伴う地下空間に滞在している実験者等のパニック等を引き起こす可能性がある。このようなリスクを低減するために、通常受電システムが停電した場合にも必要最低限の照明や換気等が継続して機能するように、十分な非常用電源装置を設置する必要がある。特に ILC 施設は非常時においても、入坑者が安全に避難可能であること、地下施設の水没を回避可能であること及び冷却機能喪失によるヘリウム喪失を回避可能であることが求められることから、停電対策・電力確保は非常に重要である。

更に、大量のヘリウムの使用が想定されている ILC 施設内では、ヘリウムリークによってトンネル内が酸欠状態になり、人的被害が発生する可能性がある。そのため、早期に漏洩(酸素濃度の低下)を検知し、換気によるヘリウムのトンネル外への排出が必要である。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[運転時:スーパーカミオカンデにおける災害対策による予算への影響]

- ・スーパーカミオカンデでは地下実験施設内において常に研究者や職員の移動をモニタリングできるよう、出入坑管理システムを導入している。システム導入には整備費等予算への影響はあるが、緊急時・災害時の対策として有効である。

7) 環境

①ILC における想定

ILC では、その他の環境への影響について、「候補地が決定し次第、環境影響評価を実施」とする以外で具体的な想定は無い。

環境影響評価については、仮に日本にて検討が進む場合、“ILC 建設において、ILC(地下施設建設)については、環境影響評価法の規定において、①研究施設用途は対象外、②開発面積が 100ha を越えない、という理由から、環境アセスメントの義務を負わない可能性がある”とされている。

現状で、環境影響評価の義務を負わないが、任意で実施すべきとの議論が大勢を占めている。

仮に任意的な環境影響評価が実施される場合は、表 16 でまとめた環境要素毎の調査、分析が必要となる。

表 21 ILC 建設において想定される、環境への影響に係る項目(再掲)

環境要素の区分			影響要因の区分の例	
			工事の実施	存在・供用
環境の自然的構成要素の良好な状態の保持	大気環境	大気質 (NO _x 、SPM、粉じんなど)	<ul style="list-style-type: none"> 建設機械の稼働、資機材の輸送 掘削土の処理に伴う粉じんの発生 化学反応に由来する有毒ガスの発生 	自動車の走行、換気所の供用
		騒音・振動・低周波音	<ul style="list-style-type: none"> 建設機械・工事用機械の稼働、資機材の輸送 	換気所からの騒音、低周波音の発生
	水環境	水質(水の汚れ、水の濁り)	<ul style="list-style-type: none"> 汚泥処理からの濁水の発生 	雨水排水、冷却水などの放流
		地下水(水位、水質)	<ul style="list-style-type: none"> 掘削工事・トンネル工事による地下水位変動・流動阻害 掘削工事・トンネル工事による地下水水質の酸性化 	
	土壌に掛かる環境、その他の環境	地形及び地質	<ul style="list-style-type: none"> 湧水・埋蔵文化財の消滅など 化学反応に由来する地盤の発熱及び強度低下 	
		地盤沈下	<ul style="list-style-type: none"> 掘削工事・トンネル工事による地盤沈下 	
生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全	動物・植物・生態系		<ul style="list-style-type: none"> 変更による動物・植物・生態系へ影響 	地上施設による動物・植物・生態系の変化
人と自然の豊かなふれあい	景観			地上施設による景観阻害
	人と自然とのふれあい活動の場		<ul style="list-style-type: none"> 湧水・埋蔵文化財の消滅など 工事による通信阻害など 	通勤車両による渋滞発生など
	廃棄物		<ul style="list-style-type: none"> 掘削土の発生 掘削汚泥の発生 	廃棄物の発生 <ul style="list-style-type: none"> 岩盤掘削に伴う大量ズリの活用策を検討 面的開発(中央キャンパス)を含めた活用策(盛土・骨材等) 建設発生土利用技術マニュアル(独法 土木研究所)による例示 産業廃棄物処理検討 建設時の廃棄物は副産物としてリサイクル 実験装置等の建設における廃棄物を明らかにして処理
環境への負荷	日照阻害・電波障害			地上施設による影響 ※山岳部では、ほぼ対象とならない

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

ILC 実験施設は、大部分が地下空間になるため、地上施設に比べて、環境影響評価法に規定されている環境アセスメントの適用範囲が狭くなる可能性がある。他方で、ILC 施設は、建設や運用面で環境に与える影響が大きく、また、近年の管轄自治体や地域住民の環境に対する関心が高まっていることから、独自に環境アセスメントの実施や自主規制を設けて、社会への説明責任を果たすことが重要となる。

例えば、AAA がまとめた” ILC 誘致を円滑に推進するための AAA・CIVIL 部会における検討(その 2)/2016” においては、沖縄科学技術大学院大学の現地調査を通じて、” ②環境アセスメントが重要 環境アセスの結果が施設計画の重大変更要因となり、具体的には生態系に配慮して橋梁が 7 本必要となる等でコストが増大した。”と記述し、現在候補地を含む自治体で実施されている環境影響評価について触れている(2013 年度：基礎資料の精査、植生図の作成、学識者ヒアリング、2013 年度～2014 年度：猛禽類1繁殖期の調査)。

■予算や工期への影響が懸念されると対応策

上述の環境アセスメントとも関連するが、建設における掘削工事等によって発生する廃棄物の処理について計画されている処理場や処理方法等についても、周辺自治体や住民の関心が高いことから、事前調査・対策実施を行う等の対応が求められる。

また、地下空間の建設によって、周辺の地下水を集めることになり、地質条件によっては、広範囲に渡って地下水が低下するような現象が生じる可能性がある。このため、工事の前後(場合によっては、途中段階も)、植生や生態系や小川・沢の水量などを入念に調査して、工事の影響を把握する必要がある。さらに、工事の影響が認められる場合は、速やかに対応策が実施できるような体制を整えておく必要がある。

2.地上施設

①ILC における想定

[The International Linear Collider Technical Design Report 2013 における想定]

11.4.2.4 地上施設

こうした山間地域では、本来なら地上にあるべき施設を地下に設置しなければならないこともある。表 11.4 は地上設備の床面積の概要である。この2つのサイトは、どちらも既存の加速器施設とはかけ離れているので、表 11.4 の総計の約半分に相当する多目的建屋用の規定を定める必要がある。残りの地上施設の床面積は、米州のサイトの約 60 %である。

表 11.4 アジアサイトの地上施設。IR 地上施設には多目的建屋も含まれる。

Accelerator section	Qty	Area (m ²)
e ⁻ source	0	-
e ⁺ source	0	-
Damping Ring	0	-
RTML	0	-
Main Linac	65	22,375
BDS	10	3,650
IR	28	65,250
TOTAL	103	91,275

出典 The International Linear Collider Technical Design Report 2013/ International Linear Collider から NRI 仮訳

ILC の地上施設は、中央キャンパスやキャンパス外居住地区に設置される研究業務施設、実験・研究施設、会議・交流施設、滞在・居住施設、サービス施設、水や電気等の供給・廃棄物の処理施設、拠点間の道路、坑口施設などとなる。

ILC の建設工事時期から数千人規模(ピーク時約 7,700 人が想定されている)が勤務、生活する場を提供する必要があり、運用時の全人口は 20 年目に約 6,300 人と推定されている。

機能・施設分類		立地想定施設	
		ILC 中央キャンパス	ILC 加速器実験サイト
研究業務機能	オフィス系施設	ILC 国際研究所 HQ オフィス 実験参加研究機関オフィス	ILC 国際研究所サテライトオフィス 実験参加研究機関サテライトオフィス
実験・研究機能	コントロール施設	実験(加速器)コントロールセンター コンピューターセンター	測定器オペレーションセンター 加速器メンテナンスセンター
	計測実験施設		実験ホール 測定器(ILD,SiD)
	加工組立施設	アSEMBリーホール(実験準備、試験 開発実験用)	測定器組立施設 加速器オンサイト組立施設
	実験支援施設	超伝導・低温・真空実験研究施設 設備・機器工作施設(ワークショップ) 保管・貯蔵施設	オンサイト工作施設
会議・交流機能	講堂(ホール)	講堂(ホール)	
	会議施設	大会議室 中・小会議室	中・小会議室
	交流機能	ラウンジ レセプション/パーティ施設 展示施設(ビジターセンター)	ラウンジ
滞在居住機能	宿泊施設	ビジター宿泊施設(集合住宅タイプ) ビジター宿泊施設(タウンハウスタイプ)	簡易宿泊施設

サービス機能	情報・展示施設	レセプション施設(受付) 展示施設(ビジターセンター) 図書・情報センター	
	福利厚生施設	カフェテリア 医療・保健施設 保育施設 娯楽・スポーツ施設	カフェテリア
	生活支援施設	ユーザーサービスセンター(銀行、 ATM、郵便局、旅行代理店等) 売店(コンビニ)	ユーザーサービスセンター 売店(コンビニ)
交通機能	駐車場施設	平面・立体駐車場	平面駐車場
供給処理機能	供給処理機能	電気室、機械室 防災コントロール室 廃棄物処理施設	特高受変電施設 熱エネルギー処理施設 ヘリウム冷凍プラント

出典 国際リニアコライダープロジェクト立地に関わる調査検討 報告書/平成 25 年 9 月/大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、野村総合研究所、福山コンサルタント

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

■規制に関わるリスクの整理と対応策

地上施設については、特に電力や水、熱の供給、廃棄物や下水の処理等、インフラに関わる設備を設置する場合には、当該規制に準じた取り組みが必要となる。

ILC 計画では、ヘリウム供給に係る冷凍設備の設置、実験のための大電力の供給など、一般の都市開発とは異なるインフラの整備が必要となる。そして、受変電のみならず発電までも行う場合、電気事業法の適用を受けることになる。電気設備の設置については、土木や建設工事の全体工程を踏まえつつ適切に実施されなければならない。

また、他の大型プロジェクトに見られるように、当該地域にこれまでに無かったような大規模な実験設備やビルが出現することになる。このため、周辺の景観との調和を図るだけでなく、地域住民等とのコンセンサス作りが必要となる。このとき、テーマによっては合意形成に多くの時間が必要となるだけでなく、その対策に係る予算措置が必要となる場合もある。

大規模な施設建設に伴う数々の工事車両の通行が、地域住民の日常生活に及ぼす影響は大きく、留意すべき事項となる。このため、周辺住民の建設工事への理解を得るだけでなく、発生するいろいろな問題を初期段階で解消できるように、関連団体や地域住民と密なコミュニケーションができる体制や発生した課題を早期に解消できる組織を作る必要がある。

中央キャンパス等の地上施設においては、土地の取得は建設予定地所在の地方自治体によって行われる予定になっており、地方自治体による土地提供プロセスに支障が生じない限り、大きな影響は無いと考えられる。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[景観条例に準拠した地上施設の検討に伴う住民等との折衝に要する工期及び予算への影響]

・LHC では、景観に対する配慮も実施され、特定の地域の住民の要請に応じて、騒音を減らす、または構造物を隠すため、木や茂みを植え、建物や冷却塔をできるだけ低く設計したり、地元の窪みに建てるなどが実施された。およそ 1,000 本の苗木を約 5 年間栽培し、アクセスエリアに移植して、地表の建物と景観を調和させることまで実施した。

■予算や工期への影響が懸念される点

中央キャンパス等の地上施設においては、土地の取得は建設予定地所在の地方自治体によって行われることから、地方自治体による土地提供プロセスに支障が生じない限り、大きな影響は無いと考えられる。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[設計時:LHC における工事車両通行に係る周辺住民への影響]

- ・ LHC では、大量に排出される土石、岩の搬出に毎日 100～150 台のトラックがアクセスシャフト付近を行き来することが懸念され、修景など、むしろ積極的に利用する方策が検討された。
- ・ さらに、専用の道路も建設され、周辺住民の日常の交通への配慮がなされた。

[建設時:SPring-8 における工事車両通行に係る周辺住民及び工期への影響]

- ・ SPring-8 では、建設時に資材の搬入や土砂の搬出にトラック等の大型車両が一般道路を行き来していたことから周辺住民から苦情が寄せられ、施工業者に対して日中の工事時間の短縮や輸送車両の速度制限を課した。

[建築工程遅れによる電気設備工事へのしわ寄せによる受電時期への影響]

- ・ 一般社団法人 日本電設工業協会は平成 29 年 7 月、「建築工程のしわ寄せ」と電気設備の適正品質と安全確保の実態把握を実施、約 35%の物件が危機的状況、危機な状態で受電を迎えており、その主たる原因は多い順から工程管理不足、もの決め工程遅延、作業員不足であり、その起因者は建築部門を中心とした発注元であることが把握され、さらに、中規模以上(契約電力 500kW 以上)で規模が大きくなればなるほど、受電時の出来高が低くなる傾向にあることが分かった、としている。
- ・ 同公表では、全体工程の中盤に適正受電に向けてリスクを確認する中間検査の実施が必要であるとし、この検査で工事部門長が受電に向けて確認すべき3つの重点管理ポイントとして、①もの決め工程の遅延(有・無)、②建築・電気の工程遅延(有・無)、③人員(作業員・担当者)増強の必要性(有・無)、を挙げている。

3.管理・運営体制

①ILC における想定(出典 国際リアコライダー(ILC)に関する有識者会議 体制及びマネジメントの在り方の
検証に関する報告書(案)/国際リアコライダー(ILC)に関する有識者会議/平成 29 年)

①プレ研究所(Pre-Lab):仮に ILC のホスト国を日本が担う場合、ILC 準備組織であるプレ研究所は、研究
機関間の合意(MOU 等)に基づく多国籍研究所として設立され、その本部を KEK に置き、最終的な工学
設計や参加国間の役割分担等に係る検討を 4 年間実施することが想定されている。

②ILC 研究所(ILC Laboratory):政府レベルで条約を締結し、付加価値税や関税が課せられない等の特
権を有する機関で、条約に基づき、参加国は契約期間を建設 9 年程度、運転 20 年以上とし、10 年間は
脱退を禁止する。11年目以降に脱退する場合も 2 年前の通告を必要とする。

【プロジェクトマネジメント】:中央プロジェクトチーム(Central Project Team)は、サイトを踏まえた設備配
置を含む設計に責任を有し、参加国により現物拠出(In Kind)される機器の仕様を決定し、参加国
は、割り当てられた現物拠出(In Kind)による貢献に係るコスト全体及び合意された納入スケジュール
に責任を有する。

【ハブ研究所】:ハブ研究所(または研究共同体)は、総合性能試験を実施し、電場勾配や共振特性等
の主要な性能達成に責任を持つ。ハブ研究所が一貫した試作及び技術検証能力を有し、基盤と
なる製造技術実証を行った上で企業への技術移転及び情報提供を行い、企業のリスクを低減する
ことが重要である。

②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

管理・運営体制については、CERN や ITER 機構²等の仕組みを検証したうえで検討されたものであり、LHC
等のプロジェクトを円滑に進めてきた実績がある体制であると言える。特に膨大な調達を全世界から実施する
ILC のようなプロジェクトでは、課税負担等による直接的なコストアップに加え、課税資料の作成など、間接的
な事務コストも相当量嵩むことが想定され、CERN や ITER 機構同様の非課税等特権の確保は、その影響を抑
制する重要な仕組みであると考えられる。

例えば、ITER 機構では、活動に際しては所在・活動する国の国内法が適用されるが、円滑な任務遂行のた
めに、国内法では認められない特権(privileges)が認められるとともに、国内法の一部適用が免除(immunities)
されており、ILC 計画においても、裁判権からの免除等の特権及び免除を付与することにより、計画の共同
による実施を確実にするための環境を整備することが重要である。

また、LHC では、受託業者が仕様を遵守しなかったり、技術的な展望を甘く見積もり、結果的に納品不可と
なる、さらに受託事業者が倒産するといった事象の発生に対して、CERN 内に生産工場を設置したり、CERN
で専門家チームを組織し、受託業者と共に解決に当たるなど、ハブ研究所的な対応策がリスクのマネジメント
に効果的であることが報告示されている。

安全管理体制について、KEK-B では、運転に伴い放射線を発生する高エネルギー加速器等を中心とした
実験施設における安全管理体制が構築されている。具体的には、高エネルギー加速器研究機構長のもとに、
安全・環境・衛生管理推進室、安全・環境・衛生管理実施室、安全委員会、放射線安全審議委員会等が設置
されている。安全委員会には、化学、機械、電気、レーザー、交通、防災火災、高圧ガスの 7 つの専門部会が
設けられ、また、専門的な調査や実験室等の安全視察、実験装置の安全審査が行われている。

² CERN 及び ITER 機構の体制等の詳細については、「大型国際共同プロジェクト等の国際協力事例に関する調査分析報告書(平成 29 年 3 月
株式会社野村総合研究所)」を参照のこと。

■規制に関わるリスクの整理と対応策

外務省によると、現在、日本には、40 を超える国際機関の事務局や事務所が、東京のみならず、全国様々な地域に設置されており、国際機関は、国家間のもの(国際連合(UN)や国際通貨基金(IMF)等)や、民間のもの(赤十字国際委員会(ICRC)等)、その他のもの(監査監督機関国際フォーラム(IFIA)等)など、その形態は様々とされている。

表 22 日本に事務局や事務所が設置されている国際機関の例(下線は本部)

<ul style="list-style-type: none"> ・ アジア開発銀行(ADB)駐日代表事務所 ・ <u>アジア開発銀行研究所(ADB)</u> ・ アフリカ開発銀行アジア代表事務所(AfDB) ・ <u>アジア生産性機構(APO)</u> ・ <u>東南アジア諸国連合(ASEAN)貿易投資観光促進センター(日本アセアンセンター)</u> ・ 「より広範な取組(ブロードアプローチ)」運営委員会事務局 ・ 欧州復興開発銀行東京駐在員事務所(EBRD) ・ 国際連合食糧農業機関(FAO) ・ 国際原子力機関(IAEA) ・ 国際復興開発銀行(IBRD) ・ 米州開発銀行(IDB) ・ 国際金融公社(IFC) ・ 国際労働機関(ILO) ・ 国際通貨基金(IMF) ・ 国際移住機関(IOM) ・ <u>国際熱帯木材機関(ITTO)</u> ・ <u>多数国間投資保証機関(MIGA)</u> ・ <u>北太平洋漁業委員会(NPFC)</u> ・ 国際連合人道問題調整事務所(OCHA) ・ OECD 東京センター ・ アジア太平洋統計研修所(SIAP) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国連人間居住計画(ハビタット)アジア太平洋事務所(福岡) ・ <u>国際連合地域開発センター(UNCRD)</u> ・ 国際連合開発計画(UNDP)駐日代表事務所 ・ <u>国際連合環境計画国際環境技術センター(UNEP IETC)</u> ・ 国連環境計画北西太平洋地域海行動計画地域調整部(UNEP NOWPAP RCU) ・ 国際連合人口基金(UNFPA)東京事務所 ・ 国際連合難民高等弁務官(UHCHR)駐日事務所 ・ <u>国際連合広報センター(UNIC)</u> ・ 国際連合児童基金(ユニセフ・UNICEF)東京事務所 ・ 国際連合工業開発機関東京投資・技術移転促進事務所(UNIDO ITPO Tokyo) ・ 国際連合国際防災戦略事務局(UNISDR)駐日事務所 ・ 国連訓練調査研究所(UNITAR)広島事務所 ・ <u>国際連合大学(UNU)</u> ・ UN Women 日本事務所 ・ 国際連合世界食糧計画日本事務所(WFP) ・ 世界保健機関(WHO)日本事務所 ・ 世界知的所有権機関日本事務所(WIPO) ・ 世界観光機関アジア太平洋センター(UNWTO) ・ <u>太平洋諸島センター(PIC)</u> ・ 国際獣疫事務局(OIE)アジア太平洋地域事務所
--	--

出典 外務省ホームページ <http://www.mofa.go.jp/mofaj/link/kokusai/>

これらの機関は、立地国の地勢的・政治的なリスクに曝されないよう、基本的に協定等が別途、締結され、その意味で、当該国の規制等のリスクから隔離された状態が整備されている。

一方で、当該協定の締結に要する期間は設置される国際機関の性質に依るものであり、上記に整理されている主に事務が行われる機関と ILC のように放射線に関わる研究施設を有する機関では、関連事項が異なることから、協定等締結に関わる期間がリスクになるとも言える。

また、近年、テロに係る備えが世界中で進められており、テロへの対応に係る体制等の整備についても、期間及び予算の双方でリスクとなり得ると考えられる。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[ILC 研究所が立地国の地勢的・政治的なリスクに曝されないための ILC 計画に特化した協定等の締結]

- ・ 現在、ILC 計画では、条約や協定に基づいた、ホスト国の法律や規制を遵守しつつ、いくつかの事項で独立させた機関の設置を予定している。仮に日本に当該機関が誘致された場合、当該機関は、大規模な地震などの自然災害に曝されることとなり、その対応策が必要であるとされている。
- ・ 例えば、国際機関が日本に拠点を設置するに際して、各種の特権を有する機関を設立した事例として国連大学の事例がある。

- ・国際連合大学は、国際連合総会決議によって設立された、我が国に本部を置く国連機関であり、世界各地の大学・研究機関とネットワークを構成し、大学院レベルの教育、研究・研修事業、知識普及事業等を行う学術機関である。その法的根拠は、国連と日本国政府により結ばれた“国際連合大学本部に関する国際連合と日本国との間の協定”である。
- ・この協定では、経済インセンティブについて以下の事項が規定されている。
 - ・大学及びその資産、収入その他の財産は、すべての直接税を免除される
 - ・大学がその公用のために輸入し又は輸出する物品に関しては、関税並びに輸入及び輸出に対する禁止及び制限を免除される
 - ・基金、金又はいかなる通貨をも保持し、及びいかなる通貨の勘定をも設けることができる
 - ・大学は、日本国の社会保障制度に対するすべての強制的な拠出を免除される
 - ・大学本部の職員は、政府により、日本国の社会保障制度に参加することを要請されることはない
 - ・大学が支払った給料及び手当に対する課税の免除
 - ・政府は、当該職員（国際連合の職員である大学本部の職員（D-1の等級以上の等級を有する者に限る。）であつて、日本国民でなく、かつ、日本国に通常居住していないもの）に対し、3年ごとに1台の自動車並びに合理的な量の食料、飲料（アルコール飲料を含む。）、たばこ及び衣類を、個人的な使用のため、関税の免除を受けて輸入する権利を与える
 - ・当該職員が取得し、所有し及び使用する自動車並びに当該自動車により消費される揮発油について課される税であつて政府と大学との間で合意するものは、減免されるものとし、このため、政府は、適当な行政的措置をとるものとする
- ・一方で、災害発生時の規程については、以下が規定されている。
 - ・本部施設は、不可侵とする。日本国の官憲又は日本国で公権力を行使するその他の者は、学長の同意又は要請がある場合を除くほか、公務の遂行のため本部施設内に立ち入つてはならない。ただし、迅速な防護措置を要する火災その他の緊急事件の場合又はそのような緊急事件が本部施設内で既に発生し若しくは発生しようとしていると日本国の当局が信ずるに足りる合理的な理由がある場合には、学長の同意があつたものとみなす。
 - ・国際的危機の場合に外交使節に与えられる帰国の便益と同一の帰国の便益を大学本部の職員に提供する。
- ・前述のとおり、仮に日本に当該機関が誘致された場合、当該機関は、大規模な地震などの自然災害に曝されることなることから、常時一般人が入場する大規模な地下空間の耐震設計を実施した事例が少ないものの、適切な安全審査組織の設置が望まれる。
- ・ILC では海外の様々な機関から派遣された、様々なポジションの研究者や労働者が従事することが想定されており、例えば ILC 研究所に直接勤務する職員のみならず、ILC 計画に従事する多くの者が自然災害等から守られる規程の導入が不可欠と考えられる。

[テロ対策に関する法規制の整備]

- ・ILC 計画は放射線を取り扱う施設として、テロ対策が必要となる計画である。
- ・ILC 計画は国際機関による運営される機関であることから、サイバーテロを含む具体的なテロ対策について、国際的に様々な機関と連携した取り組みが必須であると考えられる。
- ・警察庁は、平成 27 年 6 月に、2019 年のラグビー及び 2020 年に開催されるオリンピック等の東京大会の開催に向けたテロ対策に係る要綱として警察庁国際テロ対策強化要綱を定めている。

- ・ ILC 計画は、わが国における上記の取り組みを踏まえつつ、放射線を扱う国際機関としてのテロ対策に関わる法規制及び体制の整備が不可欠と考えられる。

■ 予算や工期への影響が懸念される点と対応策

調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[CERN における安全確保のための文書システムの導入]

- ・ CERN では安全性の確保については、組織のヒエラルキーに沿った体制が構築されており、各ヒエラルキーに位置づけられている者の役割は明確となっており、それを支えているのが、電子文書管理システム (EDMs) である。LHC のように、様々な国の研究者により推進されているプロジェクトでは、コンピューターへのリテラシーや言語に依らず、明らかに情報を伝達する仕組みが不可欠であり、優れた管理・運営体制を支える情報システムの構築が不可欠となってくる。この情報システムの構築は、現状で考慮されていない導入費及び運営費の双方の面で予算増への影響が想定される。

[EUROPEAN XFEL における調達先審査]

- ・ EUROPEAN XFEL では、ロシアが In-Kind で供給しようとしていた装置に使用する素材等の安全性基準が EU と異なる点 (EU 基準での安全性が確認できない)、及びその企業が単一供給主体 (軍需関連企業) で有事の際の対応が不明瞭なこと (供給の安定性が担保できない) から、ロシアの貢献分の削減が実施された。これは、個別機器の供給可能性などを In-Kind で供給する国に委せず、自らで判断できる機能を設ける必要を示しており、膨大な調達を管理する機関の設立及び運営について、予算増への影響が想定される。

4.資金調達

- ①ILC における想定(出典 国際ニアコライダー(ILC)に関する有識者会議 体制及びマネジメントの在り方の検証に関する報告書(案)/国際ニアコライダー(ILC)に関する有識者会議/平成 29 年)

土地確保、トンネルを含む土木工事及びインフラ整備はホスト国の負担を基本とし、加速器及び測定器は参加国の現物拠出(In Kind) 貢献を基本とする。

予想外の事象に対応するための予備費(Contingency)並びに実験ホール等の現物拠出(In Kind)では分担できない部分及び機関の独立運営等のための共通基金(Common Fund)は、ILC 研究所の運営(Management)が参加国に対して資金拠出(In Cash)による分担を要求し、管理する。

運転経費については、分担方法として以下の 3 つの選択肢及びその組合せが検討されている。

- i) 参加国の拠出に比例
- ii) ホスト国が提供する土木建設費、土地購入費、インフラ整備等を除く参加国の拠出に比例
- iii) 各国の博士号を持つ実験者数に比例

- ②ILC の想定に対する予算や工期への影響とその対応策

ILC 計画は、ILC 参加国からの拠出により成り立つプロジェクトであり、その安定性は、参加国の政治や経済状況に左右される可能性がある。

また、想定される予算に対して、サプライヤーの倒産や工事における事前把握困難事項の発生などに対する Contngency の事前確保・予算化は、プロジェクトスケジュールの遵守に寄与すると共に、スケジュール遅延に伴い発生するコスト増を抑制する効果も期待される。

また、建設資材や素材価格の高騰など、調達費などのコスト増に対しては、EUROPEAN XFEL の事例でも見られるように、現物拠出(in-kind)に基づく財政モデルが、管理・運営主体やホスト国に追加的な財政的な拠出をもたらさず、プロジェクトを安定的に推進する一つの方法となる。

■規制に関わるリスクの整理と対応策

資金調達については、基金の設立を含め、管理・運営体制と同様、協定に基づく取り組みがなされることから、規制等に関わるリスクは、特段、発生の見込みは少ないものと考えられる。

但し、現物拠出(In-Kind)について、大量破壊兵器等に繋がる可能性のある技術等の移転に関わるキャッチオール規制について留意する必要がある。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[キャッチオール規制(補完的輸出規制)を踏まえた In-Kind 調達体制の構築]

- ・ 輸出しようとする貨物や提供しようとする技術が、大量破壊兵器等の開発、製造、使用又は貯蔵もしくは通常兵器の開発、製造又は使用に用いられるおそれがあることを輸出者が知った場合、又は日本の場合、経済産業大臣から、許可申請をすべき旨の通知(インフォーム通知)を受けた場合には、輸出又は提供に当たって経済産業大臣の許可が必要となる制度であり、ホワイト国(アルゼンチン、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、ブルガリア、カナダ、チェコ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイルランド、イタリア、大韓民国、ルクセンブルク、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、ポ

ルトガル、スペイン、スウェーデン、スイス、英国、アメリカ合衆国)以外の国に研究成果有体物を輸出や提供する場合、キャッチオール規制の対象となる。特に、下記のような場合には、より注意が必要となる。

- ✓ 大量破壊兵器等の開発、製造、使用又は貯蔵に用いられるおそれがある
 - ✓ 通常兵器の開発、製造又は使用に用いられるおそれがある
 - ✓ 経済産業大臣から、許可申請をすべき旨の通知(インフォーム通知)を受けた場合
- ・この場合、In-Kindでの機器調達の場合の遅延やキャンセル等のリスクが発生する可能性がある。

■ 予算や工期への影響が懸念される点と対応策

ILC 計画では、In-Kind 方式が想定されているが、各国で製造される機器の連結調整等の対応に際して、予算や工期への影響が生じる可能性がある。実際に ITER 計画では、インターフェイスを明確に決めず In-Kind 方式を採用したことで、製造機器の連結調整が困難となり、設計変更が相次ぎ製造コストが超過し、事後的なインターフェイスの統一化や国内機関からの専門家を受け入れる制度(IPA)の導入をするとともに、予備費としてプロジェクト予算の 2 割程度を確保することの検討がなされた。ILC 計画においても、同様のリスクを低減する上でも、事前におけるインターフェイスの統一化や予備費(物価変動等の想定を含む)等の計上等の対策が求められると考えられる。

なお、調査対象事例から抽出された事項については、以下のとおりである。

[LHC における出資国の経済状況の悪化による資金調達への影響]

- ・LHC では、CERN 最大出資国のドイツの東西ドイツ統一、及び他の出資国での EU 設立に係る国家財政の切迫により建設費不足が顕在化した。これに対して工期の延長や参加国の出資のみならず、銀行からの借入が活用された。

[LHC における当該国の労働法改正による工期及び予算への影響]

- ・LHC では、土木工事期間中に当該国の労働法が改正となり、労働時間が短縮することで、工期及びコストの上昇を招く事態が発生している。これに対して、委託事業者と固定価格契約の締結に係る検討が進められた。

[LHC における予期せぬ岩盤等の出現による工期及び予算への影響]

- ・地下空洞を支える柱の建設中に予期せぬ岩盤が出現し、柱の位置の移動に係る再設計の実施や鉄骨梁の設置で鉄骨及びコンクリート補強が必要となったり、CMS メインシャフトで大規模出水発生、新たな契約を締結し、地中凍結を実施するなどにより確保されていた予算が活用されている。

5. 今後検討が必要な事項

■ 規制、リスクおよびその対応策

- ・ ILC 施設の加速器や地下空洞の計画や製作・施工は、既存の法規制等の適用外の部分が多くある。他方で、社会的な影響度が大きい施設となることから、法規制の適用外であっても自主的に ILC 施設専用の基準や規制を作り、運用することが重要となる。このため、事業主体や現地の特異性等を加味した適切な基準や規制を制定し、うまく運用する必要がある。

■ 予算や工期への影響が懸念される点と対応策

- ・ 現在、ILC 施設の仕様や建設サイトの詳細が決まっていない中で ILC 計画の技術的な検討がなされているが、特に、地下空間に関しては、地形・地質・環境等の現地調査や試験を実施して、その結果を基にして具体的な基本・実施設計や詳細設計を行う必要がある。特に、衝突実験ホールでは、岩盤の実質部や割れ目の頻度・連続性、その性状等を把握し、掘削後だけでなく地震時の空洞の安定性についても検討する必要がある。
- ・ 空洞掘削時に遭遇する地山状況は事前の調査では把握しきれないことも多い。このため、調査・設計段階で把握し切れなかった岩盤剥落や大量湧水などの変状現象に施工中に遭遇した場合の対応策は、建設工事の費用や工期に大きく影響することがある。こうした影響を最小限に止め、経済的で、合理的な施工を実施するための手法や工法の採用を検討する必要がある。
- ・ 現在、ILC 施設の運用終了後の維持管理方法についての検討が深まっていない。特に、ビームダンプ装置をはじめとする実験装置や空洞について、実験終了後も含めた長期にわたる維持管理方法や高度に放射化された施設や装置や資機材の処分方法等については社会的な関心も高くなることが想定されることから、事前に、運転終了後の処分方法や方針を入念に検討する必要がある。

■ 管理・運営体制

- ・ 検討体制について、現時点では加速器技術にかかる要求水準と土木にかかる設計仕様の相互理解や摺り合せが不十分であることから、多岐にわたる課題抽出とその対応策を総合的に検討するためのインハウスのコンストラクション・マネージメント(以下「CM」という。)組織を構築する必要がある。
- ・ これまで日本で経験してきた地上施設とは全く違うことになる地下空間利用施設においては、とりわけ地下空間構築後の改変が極端に難しくなるため、計画・設計段階における加速器研究者や物理研究者と土木・建築技術者間の密なコミュニケーションと相互理解が必要となる。
- ・ また、上記の CM 組織が中心となって、建設サイトにおける地質や環境等の調査や試験を実施して、その結果に基づいた ILC 施設の具体的な実施設計や詳細設計を行う必要がある。

V. 大型プロジェクト事例の整理

1.LHC (Large Hadron Collider) 計画

1) LHC 計画の概要

LHC は、2008 年に CERN が建設完了させ、2009 年より物理運転を開始した世界最大のハドロン衝突型加速器である。この施設は、1989 年に完成、フランスとスイスの地下約 100 m の位置し、2000 年で運用を終了した LEP (Large Electron-Positron Collider) のトンネルがそのまま使用されている。トンネルには、加速された粒子の軌道を保つための超伝導マグネット、粒子を実際に加速させる円周 27km の加速空洞トンネル、実験施設 6 施設 (ALICE、CMS、ATLAS、LHCb、LHCf、TOTEM) が設置されている。

同装置は、トンネルを反対方向に加速された陽子や鉛核イオンが正面衝突することで、宇宙開闢直後に相当する非常に高いエネルギー状態での物理法則を探求することが可能であり、ヒッグス粒子の確実な発見と質量起源の解明、および超対称性など標準理論を超える TeV 領域の新しい素粒子現象の発見を目指している。

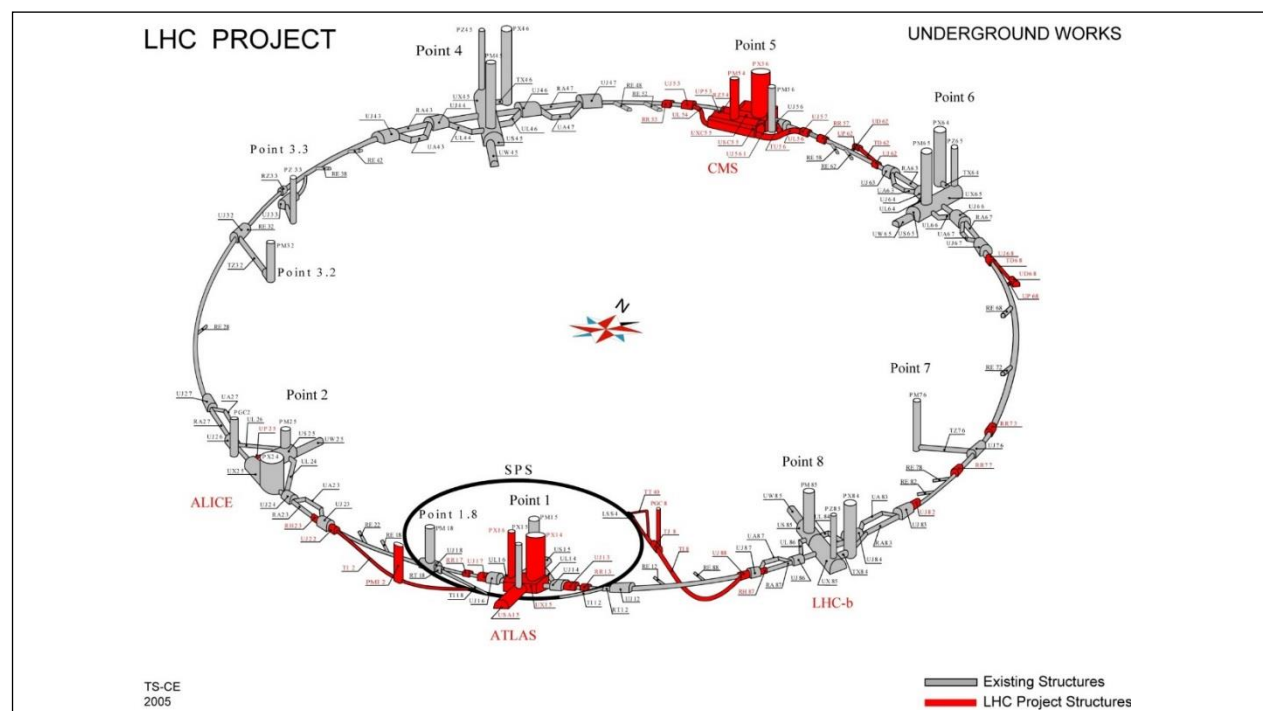
LHC は、1994 年に CERN 理事会で決定され、14 年かけ、2008 年に完成した。

表 23 LHC の概要

項目	概要
建設時期	1994 年～2008 年
施設規模	トンネル周長：約 27km
建設費	約 5,000 億円
実施主体	CERN

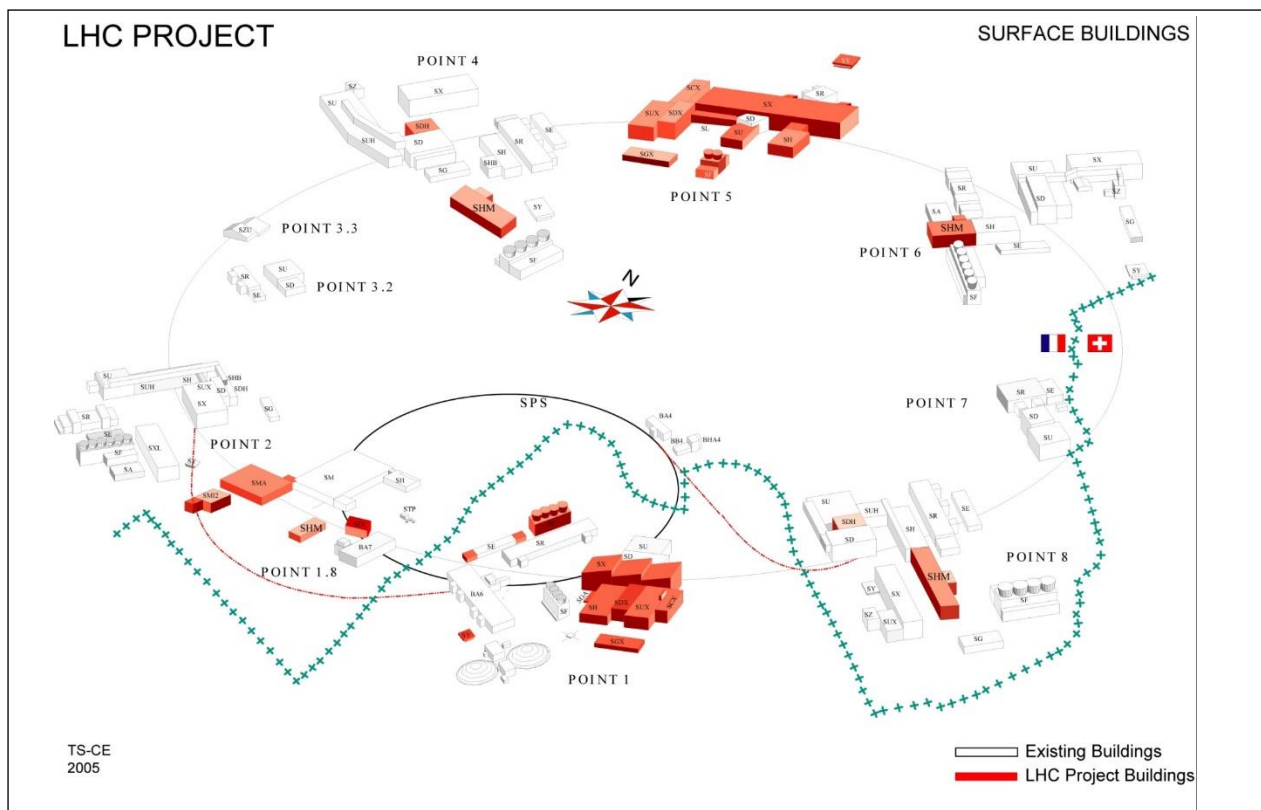
出典 CERN

図 16 加速器と実験施設の配置及び LHC で追加された地下工事部分(赤)



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

図 17 加速器と実験施設の配置及び LHC で追加された地上工事部分(赤)



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

表 24 LEP 及び LHC で拡張された工事の数量

	LEP	LHC
Number of Shafts	19	6
Number of underground caverns	37	32
Tunnel lengths (all diameters)	32'600m	6'500m
Number of buildings	70	30
Surface Area of buildings	59'000m ²	28'000m ²
Excavated Volumes	1'100'000m ³	420'000m ³
Volume of Concrete underground	230'000m ³	125'000m ³
Volume of Concrete on Surface	85'000m ³	42'000m ³

出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

図 18 1954 年に CERN は設立され LHC は 1994 年から 2008 年の期間に建設された

Advances in Acc. Complex at CERN

Advances in Accelerator Complex:

1954: CERN founded with 12 member states

1959: 28GeV Proton Synchrotron (PS) completed

1971: Proton-Proton Collider (ISR) complete

1976: 450GeV Super Proton Synchrotron (SPS) completed

1983: W and Z discovered with Proton and Antiproton Collider (SPS)

1989: 50+50GeV electron-positron Collider (LEP) compleed

1994: Decision for the Large Hadron Collier(LHC)

2000: LEP2 operation completed

2008: LHC completed

2010: 7 TeV collision start

2012: Higgs discovered

2015: 13TeV collision start

出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)(文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))

図 19 LHC には 1970 年代から進められきたプロジェクトの蓄積が継承されている

Worldwide Cooperation and Technical Transfer for the LHC Accelerator SC Magnets

- SCM Technology well integrated **and transferred to the next project** in a worldwide HE accelerator community:
- Magnet **experts contributed / help others** in the construction phase.

Acc.	Energy [GeV]	B, G [T, T/m]	Operation
Tevatron (Fermilab)	2 x 900	4.0 T	1983-2011
HERA (DESY)	820	4.68 T	1990-2007
RHIC (BNL)	2 x 100	3.46 T	2000 -
LHC (CERN)	2 x 7,000	8.36 T	2008 -

出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader) (文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))

図 20 LHC は約 10 年の基礎開発段階、それに続く工業化前段階を経て建設、運営されている



略 歴

- Preliminary conceptual studies 1984
- First magnet models 1988
- Start structured R&D program 1990
- Approval by CERN Council 1994
- Industrialization of series production 1996-1999
- Start civil works 1998
- Adjudication of main procurement contracts 1998-2001
- Start installation in tunnel 2003
- Cryomagnet installation in tunnel 2005-2007
- Functional test of first sector 2007
- Commissioning with beam 2008
- Operation for physics 2009-

出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)(文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))及び Risks and risk management during LHC construction from a view point of procurement management/Visit from Nomura Research Institute, Nov. 29-30, 2017/Anders Unnervik

図 21 超伝導を支える 10,000 カ所の接続部分



出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)(文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))

図 22 超伝導磁石は加速器トンネルに一つの縦坑から2年間かけて導入されトンネル内に線路も敷かれた



出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)(文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))

図 23 トンネル内に敷かれたレールの他、遅滞無い工事を旨し導入された Air Pad(重量部品の移動性確保)



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

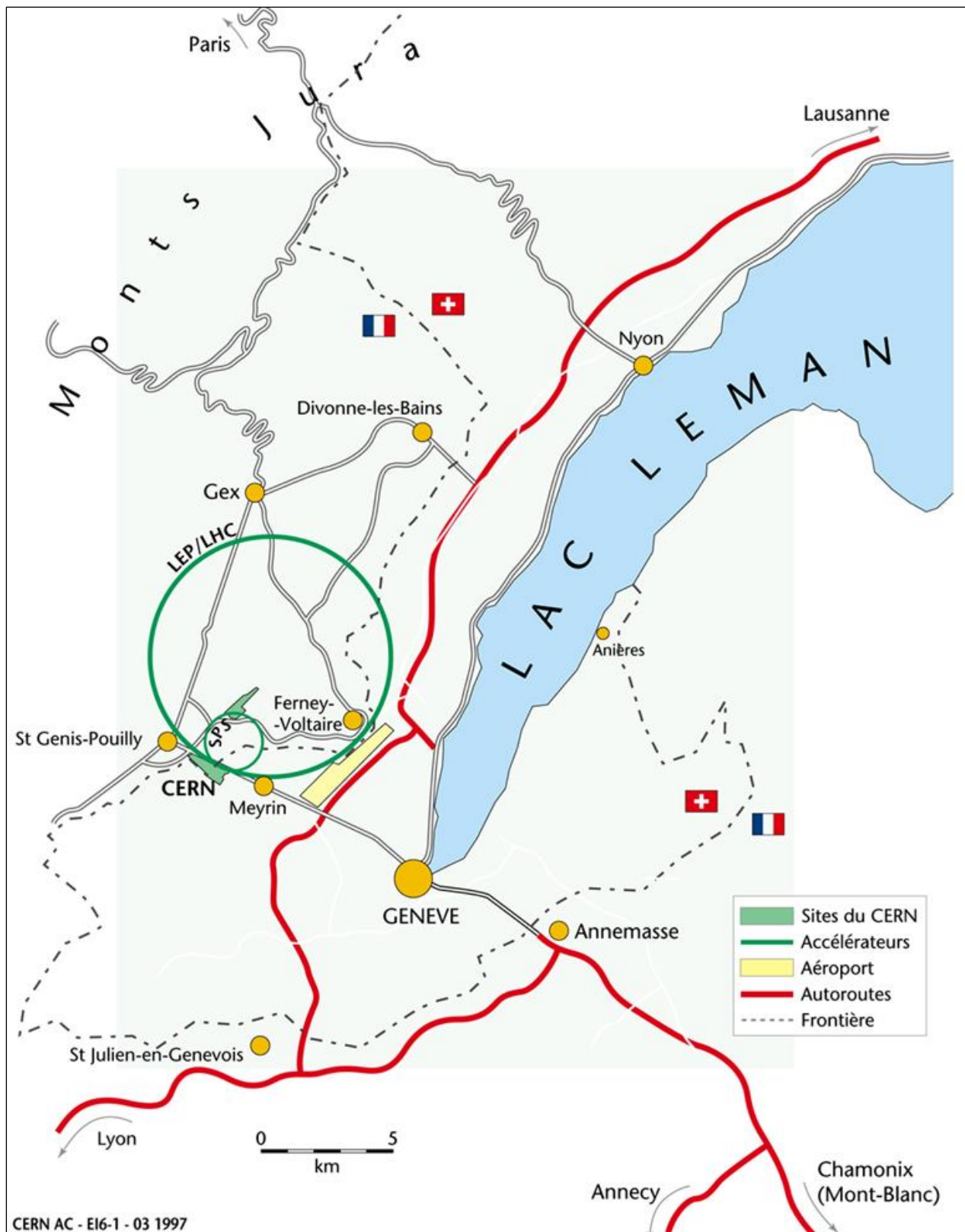
図 24 リスク及び安全管理の対象となる膨大な量のスタッフ、従業員、研究者等の数

Category	Finace Source	# people	Comment
CERN Staff	Human resource	~2,300	Permanent
CERN Associae (Paid Associate)	Human resource	~1,000	Term limited to be ~ 2 yrs
Sub-contractor	Contract	~1,600	Annual base
Project Associate*	Project finance in- kind	unkown	Term limited within the project period
Users*	Own institute	~10,000	Registration in each few years
Staff from in-kind contribution*	Own institution and CERN	unkown	Salary paid by own

* Based on bilateral agreement (MOU).

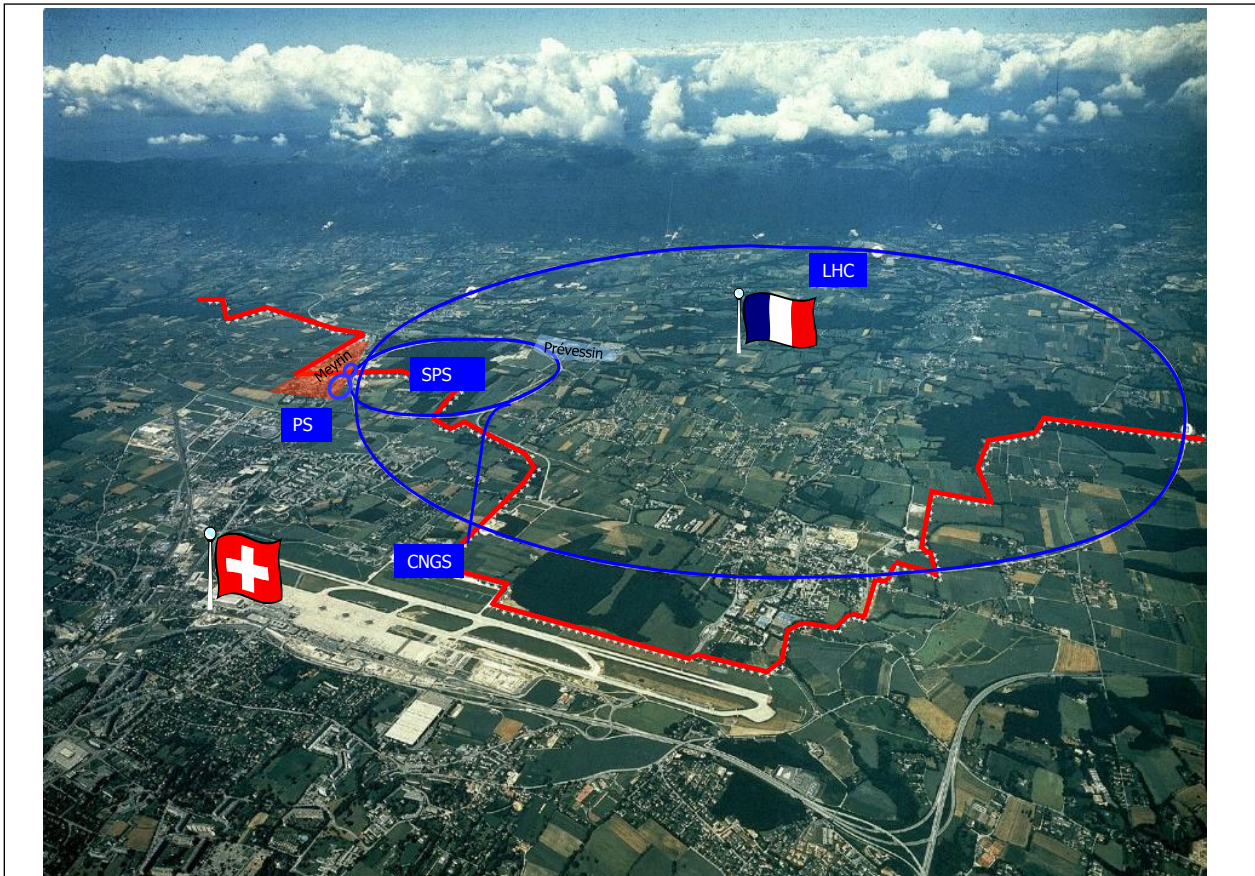
出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)

図 25 LHC の地理的位置 (2 つの国に跨ることが法規制への遵守等でポイントとなっている)



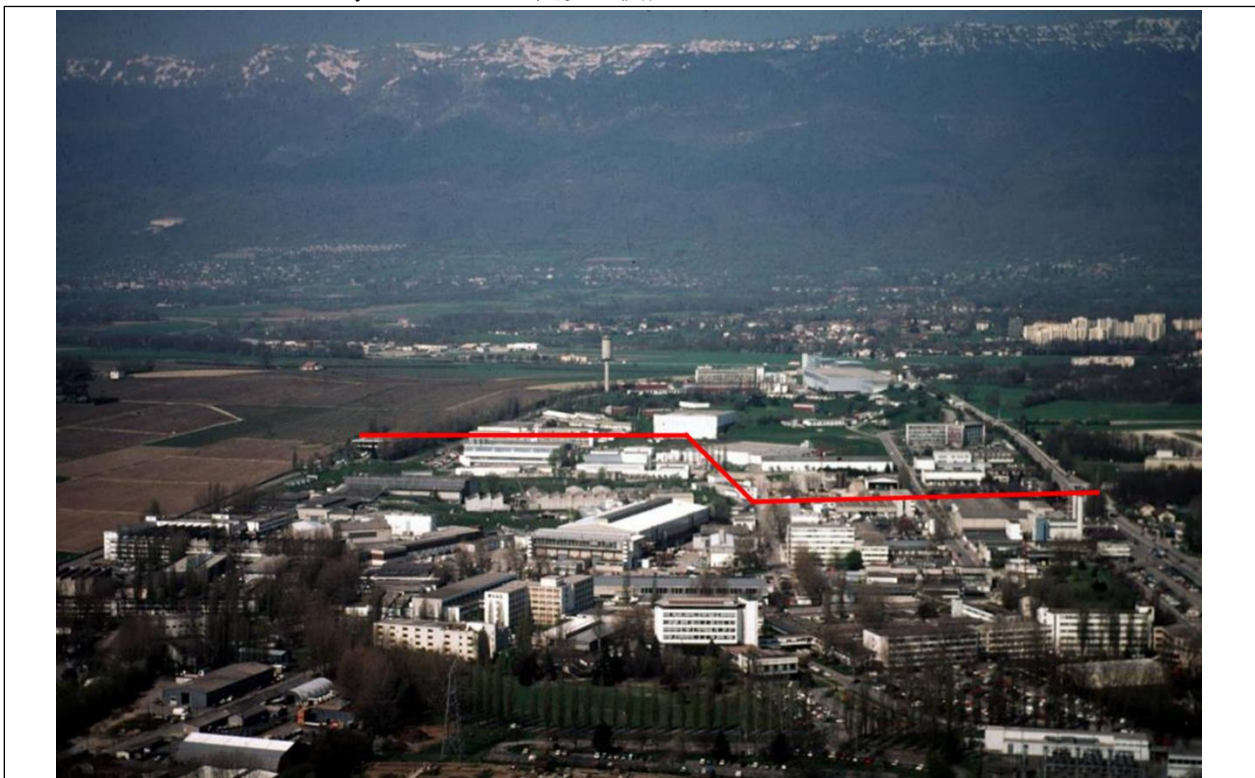
出典 CERN ドキュメントセンター <http://cds.CERN.ch/record/842399>

図 26 LHC の上空写真(サイト内のフランスとスイスの国境)



出典 NRI visit at CERN, 30 November2017/A. Goehring-Crinon, HSE -DI

図 27 サイトの一つである Meyrin Site 内でも国境が横切る



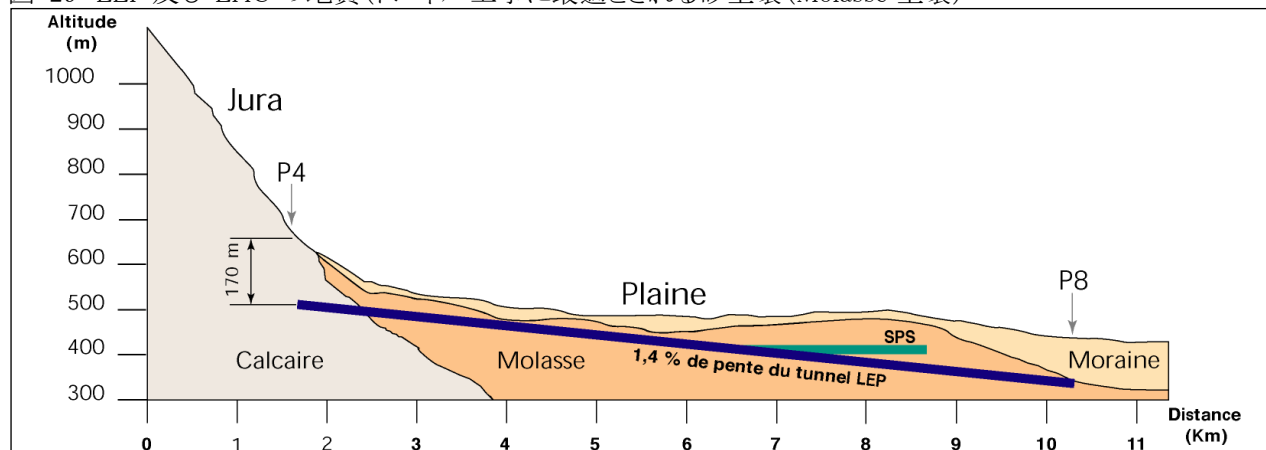
出典 NRI visit at CERN, 30 November2017/A. Goehring-Crinon, HSE -DI

図 28 爆破が使用されなかった LHC の土木工事



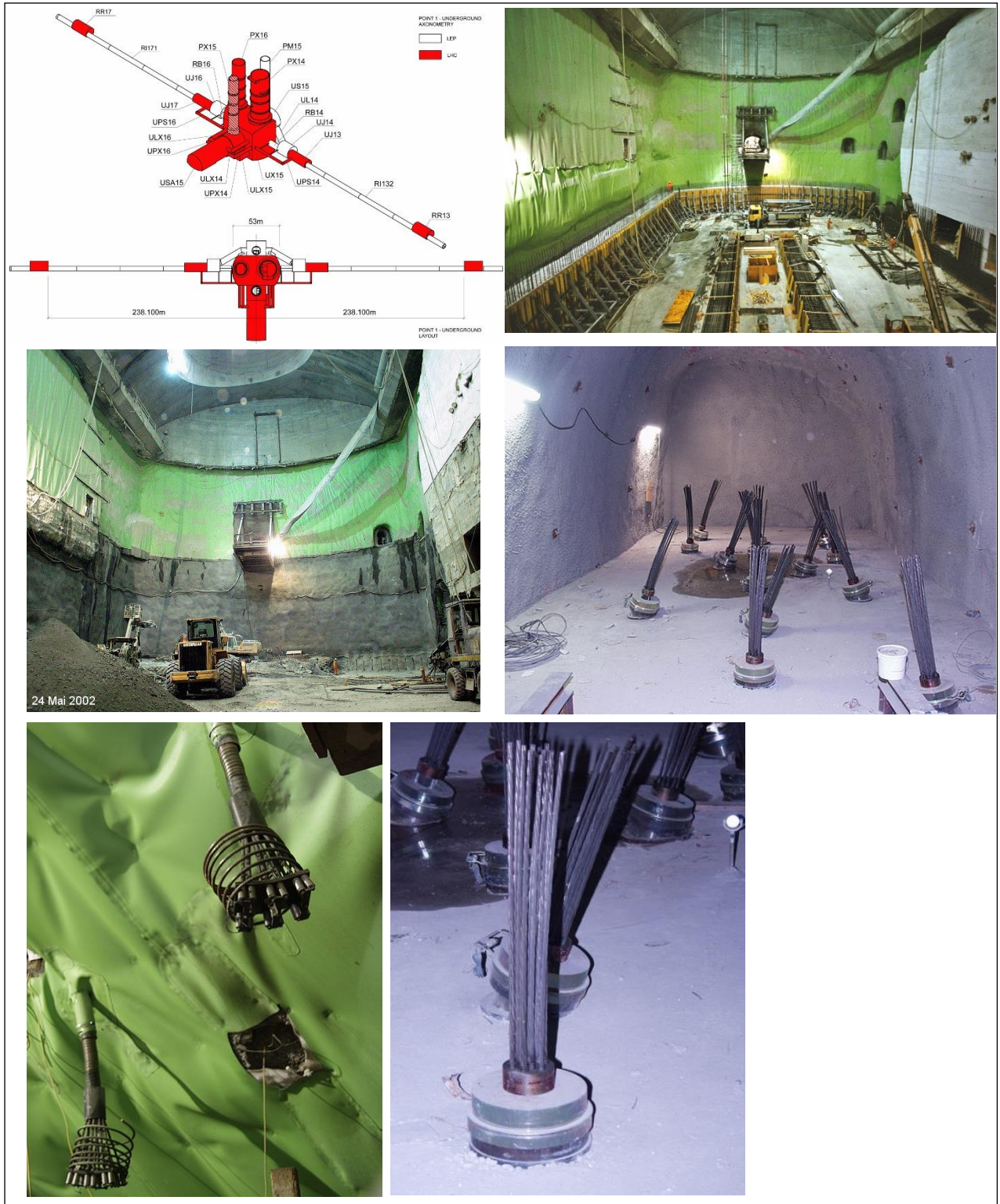
出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

図 29 LEP 及び LHC の地質(トンネル工事に最適とされる砂土壌 (Molasse 土壌))



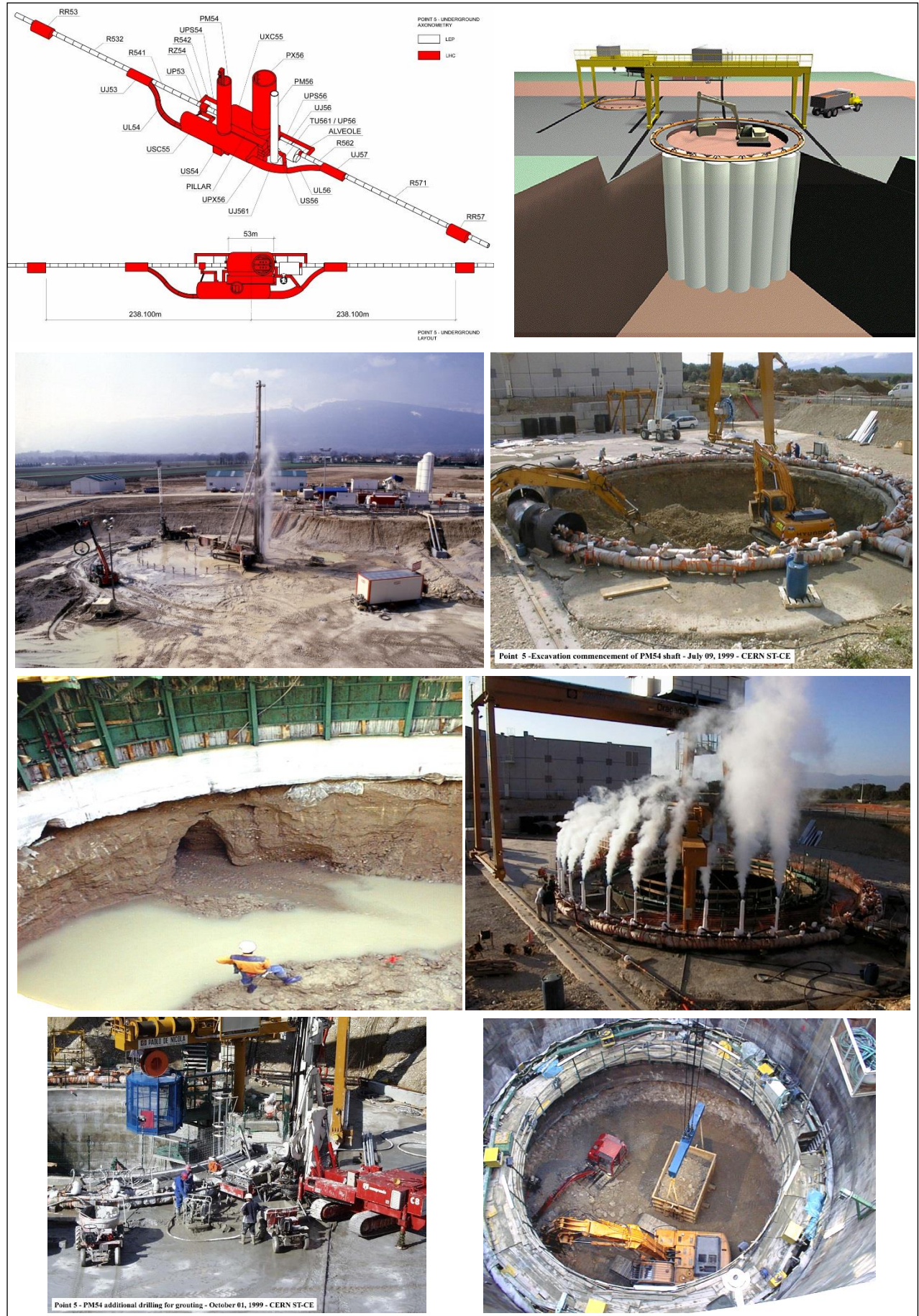
出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

図 30 Atlas で採用された上部からの工事(機器等のつり下げ)



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

図 31 CMS の設置で出水のため導入された冷凍装置を用いた縦坑掘削技術



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

図 32 CMS の縦坑掘削工事(つづき)

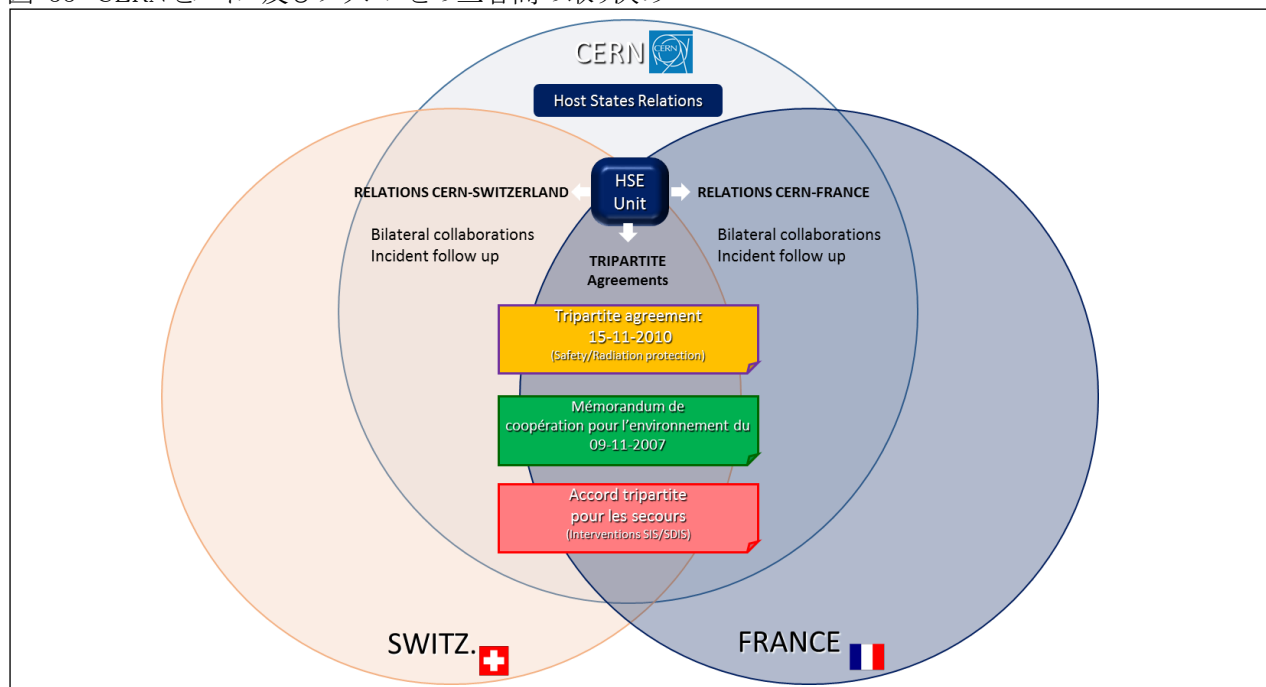


出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

2) LHC の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

CERN における放射線防護を含む労働者(研究者を含む)の安全及び環境保護に係る基準は、CERN とスイス及びフランスとの三者間の取り決めにより、CERN が設定している。

図 33 CERN とスイス及びフランスとの三者間の取り決め



出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017 Regulation, Safety, and environment/ E. Cennini/HSE-SEE より NRI 作成

三者間の取り決めの範囲は、労働者等の安全及び環境保護に係る基準、放射線防護等、プロジェクトのライフサイクル全般に関わる取り組みとされており、土木や建設工事の実施については、当該工事が実施されるスイス及びフランスの関係機関からの許可が別途、必要とされている。

三者間の取り決めに運営する体制として次が構築されている。

表 25 三者間の取り決めに運営する体制

請負業者の安全に関する三者委員会	メンバーシップ:安全衛生当局の代表者、現場で働く請負業者、Occupational Health, Safety, and Environment (HSE) Group の責任者 対象範囲:現場で働く請負業者の健康と安全に関する問題
環境問題に関する三者委員会	メンバーシップ:地方政府、環境担当でアクセラレータ担当のディレクターを議長とする。 対象範囲:水、エネルギー、一般環境問題
放射線防護と放射線安全に関する三者会議	2010 年までは、フランス ASN とスイス OFSP との間で、それぞれ Convention 28.04.1972 Protection vs Ionising radiation(条約 28.04.1972 保護 vs 電離放射線)(仏)、Convention 11.07.2000 Radiation Protection and Radiation Safetx(条約 11.07.2000 放射線防護と放射線 Safetx)(仏)、Agreement 08.09.1993 Protection vs Ionising radiation(合意 08.09.193 防護対電離放射線)(スイス)が結ばれていたが、2010 年に三者間での文書が合意された。
保障措置に関しては SFOE (スイス連邦エネルギー省)とコラボレーションする	

出典 NRI visit at CERN 30 November 2017/A. Goehring-Crinon, HSE -DI

①労働者等の安全及び環境保護基準、放射線防護等を対象とした CERN Safety Regulation

安全は CERN の一般方針の前提事項でされている。

CERN は、安全方針を明確に規定し、徹底して実行しており、CERN の安全方針は、CERN の安全に関する一般の主要な原則を規定している。

政府間組織としての CERN は、上記に加え、安全規則を制定し、具体的に必要な機能を備え、その検討プロセスでは、主催国(フランスおよびスイス)の法律および規制、EU の規制および指令、ならびに国際的な規制、基準および指令が考慮されている。

CERN における安全問題の責任と組織構造は、安全規則およびそれを補完する補助文書に定義されている。

CERN における“安全”とは、放射線防護、環境保護、放射線安全を含む CERN の施設全体の安全な運用、労働安全及び衛生を対象としている。

表 26 CERN の安全基準 (Safety Regulation) の範囲と基準策定に用いた根拠

Occupational Safety and Site Policies			
Access to CERN	Health and Occupational Safety		Safety Organisation
Access, visits and special events (extended meetings, conferences, exhibitions...), on-site policies.	Safety at workplace, rules on smoking and alcohol addiction, road traffic, ergonomic, occupational medicine, etc.		Procedures for establishing and updating Safety rules, organisational charts, emergency procedures, etc.
Safety for Accelerators and Experiments			
Design, installation, commissioning, operation, maintenance and decommissioning of accelerators and experiments.			
Radiation Protection			
Ionizing radiations, radiation protection procedures, radiographic inspections, radioactive waste management, radiological risks, etc.			
Technical Safety			
Work Organisation	Worksites, Buildings and other Constructions	Safety Systems	Fire Safety
General work organisation rules: individual protection equipment, personnel and material transport, material storage, etc.	Civil engineering, buildings, workshops, laboratories, worksites, etc.	Design, installation, commissioning operation, maintenance, decommissioning.	Fire prevention systems and rules, new projects, fire fighting systems, etc.
Electrical and Optical Safety	Chemical, Cryogenic and Biological Safety	Machines, Tools and Equipments	Mechanical Safety
Electrical installations, electric, electromagnetic and optical risks.	Dangerous fluids/materials, biological agents, asbestos, etc.	Design, installation, commissioning operation, maintenance, decommissioning.	Rules for mechanical, cryogenic and pressurized equipment.
Environment			
Industrial and domestic waste fluids, consequences of normal and degraded functioning on workers and environment.			
Accidents and Near Misses			
Response to accidents and near misses, internal emergency procedure.			

Based on OHSAS 18001

Based on best practices in matters of radiation Safety and Radiation protection based on recommendations and standards enacted by AIEA, OMS, OIT and CIPR and practices applied in the Host States for similar facilities

Based on OHSAS 18001

Based on ISO14001

Based on ISO31000

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017 Regulation, Safety, and environment/ E. Cennini/HSE-SEE より NRI 作成

安全規則は、CERN の安全方針に見られて、労働安全衛生、環境保護、機器および設備の安全、および運用上の安全など、組織のさまざまな活動分野に適用されている。

具体的に、CERN Safety Regulation には次のような文書が用意されている。

表 27 Safety Regulations (SR)として用意されている文書

文書の種類	文書の内容
SR-C - 化学物質	この安全規則の目的は、職場にある、あるいは CERN 活動に使用されている危険な化学物質の影響から人の健康と安全を保護して、傷害の発生あるいは発生のリスクを避けられる最低限な安全要件を定義することである。 これは有害化学物質を使用された CERN 活動に適用される。
SR-S - CERN での喫煙	この安全規則は、CERN 敷地内の全ての囲まれた、または覆われたスペース、ならびにすべての CERN 車両における喫煙を禁止している。 この安全規則は CERN 現場にいるすべての人に適用される。
SR-SO - CERN の安全問題における責任と組織構造	この安全規則の目的は、CERN の安全に関する事項に係る責任と組織構造を明確にすることである。 組織の活動に参加しているか、またはその地位に関係なく、現場に存在するすべての人物を対象としている。
SR-M - 機械装置	この安全規則の目的は最低限の安全要件を定義し、CERN に所属する、CERN または協力機構より賃借した機械、すでに使用されている、あるいは使用する可能性のあるすべての機械装置に適用される。
SR-WS - 作業とサービス	この安全規則の目的は、プロジェクト設計を除き、CERN の現場での作業とサービスの実施に必要な最小の安全要件を定義することである。

出典 CERN ホームページ <https://espace.cern.ch/safety-rules-regulations/en/rules/byType/NewClassification/Pages/safetyRegulation.aspx>

②安全計画と安全手順(Safety Plans and Safety Procedures (SP))

安全計画と安全手順には、CERN 全体に適用される主なスキーム、手順、組織、またはプログラムが含まれ、安全上の問題に対して拘束力を持つ。

③一般安全指示書(General Safety Instructions (GSI))

一般安全指示は、定義された活動分野または定義されたタイプの機器について、安全規則(SR)、安全計画と安全手順(SP)の実施方法を決定している。これらの一般安全指示は、通常、CERN 全体をカバーするために発行されている。

表 28 一般安全指示書 (General Safety Instructions)

文書の種類	文書の内容
GSI-C-1 - 予防および保護対策	この一般安全指導の目的は、有害な化学物質の影響から人の健康および安全性に対して、生じるか、または起こりそうなリスクから人を保護するために、予防および保護措置が満たさなければならない最低限の安全要件を定義する。これは有害化学物質を含むいずれの CERN 活動にも適用される。
GSI-C-2 - 爆発性気体 (Explosive atmospheres)	この一般安全指導の目的は、爆発性気体から生じる、または発生する可能性がある職場の健康および安全性に対するリスクから人を保護するための最低限の安全要件を定義することである。 これは、爆発性雰囲気が存在するか、存在する可能性がある有害な化学物質を含む CERN 活動のすべてに適用される。
GSI-C-3 - 職場環境における有害化学物質への暴露のモニタリング	この一般安全指導の目的は、職場の大気中の有害化学物質への暴露のモニタリングに関する最低限の安全要件を定義することである。 危険な化学物質が存在するか、職場環境に存在する可能性が高い CERN 活動すべてに適用される。
GSI-M-1 - 持ち上げ装置 (Lifting equipment) および付属品	この一般安全指導の目的は、CERN または協力機関が所有または借用している、CERN で使用または使用を予定しているすべての持ち上げ装置およびアクセサリ、および関連するすべての活動に適用される最小安全要件を定義することである。 この一般安全指針は、以下には適用されない。 一般的な安全指示 GSI-M-5「リフト」に定義されているリフト
GSI-M-2 - 標準圧力装置 (Standard pressure equipment)	この一般安全指導の目的は、CERN または協力機関が所有または借用している、CERN での使用または使用を意図しているすべての標準的な圧力機器およびアクセサリ、および関連するすべての活動に適用される最小安全要件を定義することである。 この一般安全指導は、以下には適用されない。 ・消火器 ・火災時に使用する圧力機器 ・暖房、換気および空調 (HVAC) 設備 ・極低温装置。
GSI-M-4 - 極低温装置 (Cryogenic equipment)	この一般安全指導の目的は、CERN または協力機関が所有または借用している、CERN での使用または使用を意図したすべての極低温機器およびアクセサリ、および関連するすべての活動に適用される最小安全要件を定義することである。
GSI-M-5 - リフト (Lifts)	この一般安全指導の目的は、CERN で使用するために使用されるリフトとその安全コンポーネントに適用される最小安全要件を定義することである。 この一般安全指導は、作業場のリフトに適用される。
GSI-SH-1 - CERN サイトへの訪問 (Visits on the CERN site)	この一般安全指導の目的は、CERN 現場でのあらゆる種類の訪問 (Visits) のための最低限の安全要件を定義することである。

文書の種類	文書の内容
GSI-SH-2 -独自の作業 (Lone working)	この一般安全指導の目的は、独自の作業(Lone working)のための最小安全要件を定義することである。
GSI-SO-1 -部門安全管理者(Departmental Safety Officer (DSO))	この一般安全指導の目的は、部署安全オフィサー (DSO) の任期を定義することである。
GSI-SO-2 -国土安全保障担当者(Territorial Safety Officer (TSO))	この一般安全指導の目的は、国土安全保障担当者 (the Territorial Safety Officer :TSO) の指針を定義することである。
GSI-SO-3 - セーフティリンクパーソン(Safety Linkperson (SLP))	この一般安全指導の目的は、安全リンク先 (General Safety Instruction :SLP) の基準を定義することである。
GSI-SO-4 -大規模な実験グループリーダーの安全事項(Large Experiment Group Leader in Matters of Safety (LEXGLIMOS))	この一般安全指導の目的は、Large Maturity Group Leader of Safety (LEXGLIMOS) の基準を定義することである。
GSI-SO-5 -実験安全担当者(Experiment Safety Officer (EXSO))	この一般安全指導の目的は、実験安全オフィサー (the Experiment Safety Officer : EXSO) の任期を定義することである。
GSI-SO-6 -専門安全管理者(Specialised Safety Officer (SSO))	この一般安全指導の目的は、専門安全管理者 (the Specialised Safety Officer: SSO) の任期を定義することである。
GSI-SO-7 - プロジェクト・セーフティ・オフィサー (Project Safety Officer (PSO))	この一般安全指導の目的は、プロジェクト安全担当者 (the Project Safety Officer:PSO) の任期を定義することである。
GSI-SO-8 -放射線安全サポート担当者(Radiation Safety Support Officer) (RSSO)	この一般安全指導の目的は、放射線安全サポート担当者 (the Radiation Safety Support Officer :RSSO) の指針を定義することである。
GSI-SO-9 -部署安全委員会(Departmental Safety Officers Committee) (DSOC)	この一般安全指導の目的は、部署安全委員会委員会 (the Departmental Safety Officers Committee:DSOC) の任期を定義することである。
GSI-SO-10 -複雑な安全諮問パネル(Complex Safety Advisory Panel (CSAP))	この一般安全指導の目的は、複合安全諮問委員会 (the Complex Safety Advisory Panel :CSAP) の委任事項を定義することである。
GSI-SO-11 -専門安全委員会(Specialised Safety Officers Committee) (SSOC)	GSI-SO-11 - 専門安全委員会 (Specialised Safety Officers Committees: SSOC)

文書の種類	文書の内容
Officers Committees (SSOC))	
GSI-SO-12 - Workshop Supervisor (WS) GSI-SO-12 - ワークショップスーパーバイザ (WS)	GSI-SO-12 - ワークショップスーパーバイザ (Workshop Supervisor: WS)
GSI-WS-1 -作業とサービスの安全協調(Safety coordination for works and services)	この一般安全指導の目的は、CERN または他の方法で管理され、CERN の現場で実行される、安全管理のための最小安全要件を定義することである。 この一般安全指導は、次の場合には適用されない。 <ul style="list-style-type: none"> - デザインの側面。 - 作業領域のレイアウトと作業およびサービスの実施に関する技術的規定。 - 活動に関連するリスクまたは手術が行われる場所に基づく医療モニタリングの組織化。

出典 CERN ホームページ <https://espace.CERN.ch/safety-rules-regulations/en/rules/byType/NewClassification/Pages/gsi.aspx>

④特殊な安全指示(Specific Safety Instructions (SSI))

特殊安全指示は、一般安全指示よりも制限された事項を対象としている安全規則 (SR)、安全計画および安全手順 (SP) の実施のための詳細を規定している。

表 29 特殊な安全指示(Specific Safety Instructions)

文書の種類	文書の内容
SSI-M-1-1 - スリングとリフトチェーン(Slings and lifting chains)	この安全指示の目的は、スリングおよびリフトチェーンに関する追加の安全要件を定義し、一般安全命令 GSI-M-1「持ち上げ装置と付属品」と対比して用いる。
SSI-M-1-2 クレーン、橋クレーン、ガントリークレーン、動力式ホイスト、およびその付属品	この安全指示の目的は、クレーン、橋クレーン、ガントリークレーン、動力式ホイスト、およびその付属品に関するその他の安全指示を定義し、一般安全命令 GSI-M-1「持ち上げ装置と付属品」と対比して用いる。
SSI-M-1-3 -非固定荷台アクセサリ (Non-fixed load-lifting accessories)	この安全指示の目的は、以下の非固定荷重持ち上げアクセサリに関連する追加の安全要件を定義することである。 永久電リフティングマグネット、永久リフティングマグネット、C フック、持ち上げ用電磁石 (バッテリーまたは主電源)、持ち上げフォーク、持ち上げ梁、クランプ、シートメタルクランプ、真空把持システム
SSI-M-1-4 -手動で動く持ち上げ装置(Manually powered lifting equipment)	この安全指導の目的は、以下の手動で動かす持ち上げ装置および付属品に関する追加の安全要件を定義し、一般安全指示 GSI-M-1「持ち上げ装置と付属品」と対比して用いる。 滑車ブロック、レバーホイストとそのサポート、ハンドチェーンブロックとそのサポート、偏向プーリ、ジョーウインチとそのサポート、パレットトラック、フォークリフト

文書の種類	文書の内容
	ラック、リフティングテーブル、および手動プラットフォームリフト以外の手動で動力を与えられる他の持ち上げ装置。
SSI-M-1-5 - MEWP、中断されたプラットフォーム、マストクライミングプラットフォーム、ルールに依存した保管・回収装置(MEWP, suspended platforms, mast-climbing platforms and rail-dependent storage and retrieval equipment)	この安全指導の目的は、移動式エレベータ作業台 (MEWP)、中断されたプラットフォーム、マストクライミングプラットフォームおよびルールに依存する保管および回収装置、およびそれらの部品に関連する追加の安全要件を定義し、一般安全指導 GSI -M-1 “持ち上げ装置と付属品”と対比して用いる。 この装置には、一時的または永続的に設置された移動式エレベータ作業台、人や機器、材料を単一の出発点に移動させるために使用される手作業または電気式の動力プラットフォームが含まれ、1人または複数の人が作業することが対象。消防士が使用するプラットフォームおよびその他の緊急サービスは、本安全指示の対象から除外されている。
SSI-M-1-6 - リフトテーブル、車両リフト、テールリフト (Lifting tables, vehicle lifts and tail lifts)	この安全指示の目的は、一般安全命令 GSI-M-1「持ち上げ装置と付属品」と比較して、テーブル、車両リフト、テールリフト、およびそれらの部品に関連する追加の安全要件を定義することである。 この装置には、一時的または永続的に設置された昇降作業台、手動または電気で動力を与えられた装置、材料および/または人員の昇降に使用される昇降作業台があり、さらに高さの作業をより便利且つ安全に行うために装置および材料を持ち上げることができる。
SSI-M-1-7 - オークリフトトラック(Forklift trucks)	この安全指導の目的は、一般安全指導 GSI-M-1「持ち上げ装置と付属品」と比較して、フォークリフトに関連する追加の安全要件を定義することである。 この特殊安全指示は、パレットトラックには適用されない。
SSI-M-2-1 -圧力容器 (Pressure vessels)	この安全指示の目的は、追加の安全要件を定義して、一般的な安全指示 GSI-M-2「標準圧力装置」と比較することである。 CERN で使用される圧力容器に関連して、最大許容値を受ける可能性のある、または許容される可能性のある、PS> 0.5 バールの圧力。次の船舶およびその安全付属品は、本安全検査の対象から除外されている。 極低温船舶(cryogenic vessels)、単純な圧力容器、暖房、換気および空調 (HVAC) に使用される船舶、可搬型圧力容器
SSI-M-2-2 -簡易圧力容器 (Simple pressure vessels)	この安全指示の目的は、CERN で使用される単純な圧力容器およびその安全付属品に関する追加の安全要件を定義して、一般安全指令 GSI-M-2「標準圧力装置」と比較することである。 低温容器は、この安全指示の適用範囲から除外されている。
SSI-M-2-3 -標準圧力装置の安全付属品(Safety accessories for standard pressure equipment)	この安全指示の目的は、CERN で使用される標準圧力装置の保護のための安全付属品に関する追加の安全要件を定義して、一般安全命令 GSI-M-2「標準圧力装置」と比較することである。 低温装置および HVAC (暖房換気空調) 装置は、この安全指示の対象外。
SSI-M-2-4 -金属加圧配管 (Metallic pressurised piping)	この安全指示の目的は、CERN で使用される金属加圧配管に関する追加の安全要件を定義して、一般安全命令 GSI-M-2「標準圧力装置」と比較することである。 低温装置は、この安全指示の対象外。

文書の種類	文書の内容
SSI-M-2-5 -真空チャンバとビームパイプ(Vacuum chambers and beam pipes)	この安全指示の目的は、真空チャンバおよびビームパイプに関連する追加の安全要件を定義して、一般安全命令 GSI-M-2「標準圧力装置」と比較することである。 低温真空断熱容器および真空チャンバ用窓は、この安全指示の対象外。
SSI-M-2-6 -可搬型圧力機器(Transportable pressure equipment)	この安全指導の目的は、道路で運搬できる CERN で使用される圧力装置に関する追加の安全要件を定義して、一般安全指導 GSI-M-2「標準圧力装置」と比較することである。 エアロゾル、低温装置および消火器は、この安全指示の対象外。
SSI-WS-1-1 - カテゴリー1操作の安全コーディネーター(Safety coordinator for category 1 operations)	この安全指示の目的は、カテゴリー1の作業のために安全コーディネーターが要求する基準と最低限の資格を定義することである。

出典 CERN ホームページ <https://espace.CERN.ch/safety-rules-regulations/en/rules/byType/NewClassification/Pages/ssi.aspx>

⑤トンネル工事や建物の建造に当たって適用される法規制等

先にも示した通り、トンネル工事な建物の建造に係る取り組みについては、当該工事が実施される国の法規制がそのまま適用される。

いくつかの代表的な法規制には次のようなものがある。

表 30 トンネル工事や建物の建造に当たって適用される法規制等

種 類	適用される法規制等
建築許可	<ul style="list-style-type: none"> Loi sur les constructions et les installations diverses (LCI) (スイス建築物と設備に関する法律³⁾) Code de l'urbanisme (フランス都市建設法典⁴⁾)
トンネル工事	<ul style="list-style-type: none"> Untertagbau (地下構造物土木規格スイス鉱業規格 SIA 198) Erfassen des Gebirges im Untertagbau (地下工事における地層調査ガイドライン SIA 199) Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten (規格「建設工事の一般条件」SIA118)
放射線防護関連	<ul style="list-style-type: none"> Directive Euratom 96/29 (欧州原子力共同体指令「電離放射線」) Ordnance on Radiological Protection (スイス:放射線防護令) Directive HSK-R-41 on the calculation of public exposure in the vicinity of nuclear installations due to radioactive releases (スイス:原子力安全局令 41「放射能の放出に起因する原子力施設近傍での公衆の被ばく計算に関する規則」) <p>※ LEP - The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000/Herwig Schopper/2009 によると、「フランスの法律によれば、原子力施設として、加速器は最大エネルギーが 1GeV を超える」と記述されており、LEP は原子力施設と同等とみなされていたことが分かる。</p> <p>※ 上記参照規制等は、論文「The LHC Radiation Monitoring System for teg Environment and Safety」に掲載の LHC の環境放射線モニタリングに関する根拠法令を引用。</p>
環境アセスメント	<p>Code de l'environnement (フランス環境法典⁵⁾)</p> <p>※ LEP - The Lord of the Collider Rings at CERN 1980-2000/Herwig Schopper/2009 によると、環境アセスはフランス法に基づき実施と記載</p>

出典 各種資料から NRI 作成

ートンネル工事

トンネル工事については、LEP 建設時に実施されている。

フランスやスイスでは、村の下でのトンネル掘りやその他、私有財産に関する法的状況が大きく異なる。

スイスでは、個人所有者の権利は、土地の地下深くまで及んでおり、これらは約 30 から 50m の深さに達する。但し LEP トンネルは、これより深かったため(約 150m)、スイスでは深刻な法的問題は発生しなかった。

フランス側の法的状況は複雑であり、土木工事の認可を得るため、相当の時間が要された。フランスでは、不動産の所有権が地球の中心まで及ぶとされている(ただし、州に属する油や鉱物などの地上の宝物は除く)。

LEP トンネルは 2,000 以上の私有地の下を通過し、それぞれの所有者と合意が必要とされた。一般的に、ト

³ https://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_l5_05.html

⁴ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006074075>

⁵ http://www.cjoint.com/doc/17_01/GAkkSHM7aNM_codeenvironnement.pdf

ンネルは土地の 100m 以下を超えていたことから、多くの場合、友好的な交渉によってそのような合意を得ることができた、とされている。但し、土地がアクセスシャフトの近くにあったいくつかのケースでは、トラックの出入りや建造物の関係から、所有者が騒音や景観の変化を懸念した。これらについては、当該所有者の土地に至る新たな道路を提供するなどの措置を施され、理解を得るに至ったとされている。

但し、CERN のホスト国の 1 つであるフランスは、無償で土地を提供することに合意していたため、フランス国家は土地所有者に対する補償を行う必要があった。但し、提供される金額は小さかったことから、一部の所有者は CERN に対して法的手続を開始してより良い補償を得ることを望んでいた。これらの法的問題の解決にほぼ 2 年が費やされた。

一放射線

放射線が環境に及ぼす影響は、人口に大きな懸念や危険をもたらす可能性があるため、非常に重要であり、法的に LEP は原子炉施設とみなされなければならない、運転開始前に当局からの当該法規に基づく安全等に係る証明書の発行が必要とされていた。一般に、電子(およびその反粒子、陽電子)を加速する LEP などの機械の放射効果は、陽子加速器または原子力発電所のものよりもはるかに小さいと言える。その理由は、電子と周囲との主な相互作用は、プロトンまたは中性子の核相互作用よりも約 1,000 倍弱い電磁力のみを介しているためである。LEP の主な放射源は、加速された粒子と周囲の物質との間の直接の相互作用がなくても生成される円軌道を周回する電子による放射光放射であった。

シンクロトン放射の強度は、円軌道を周回する電子のエネルギーによって急激に増加する。もう 1 つの重要なパラメータは、物質の透過力を決定する放射線の「硬度」(光子エネルギー)である。シンクロトン放射のいわゆる臨界エネルギーはこの「硬度」を特徴づけ、電子エネルギーの 3 乗で増加する。LEP 操作(85-GeV ビームエネルギー)の第 2 段階では、臨界エネルギーは 400kV であり、LEP 磁石(125-GeV ビームエネルギーで達成可能な最高エネルギー)では約 1300kV であった。これらは通常の医療用 X 線装置よりも幾分高いエネルギーであり、このような放射線は比較的容易に遮蔽することができる。

このような放射線が大気中を通過すると、主にオゾンと酸化窒素の有毒ガスが発生する。これにより、LEP に対する一般市民の反対が生じた。以前 CERN で働いていた、状況をよく知っていた物理学者は、彼の計算に基づいて、LEP による有毒ガスの生成は、約 100 万台の自動車の排ガスに相当するとした。

2 つのビームについて、放出されたパワーは 50GeV のビームエネルギーで 2.5MW であり、85GeV のビームエネルギーで 27MW であった。しかし、彼の計算では、いくつかの大きな事実を考慮に入れなかった。粒子が周回する真空チャンバは、その長さの大部分に沿って曲げ磁石によって取り囲まれていた。ビーム管を包み込んでいるこれらの磁石の C 型ヨークは、鉄とコンクリートで構成されており、既にかかなりの遮蔽を示していた。さらに、アルミニウムの真空チャンバは、磁気ヨークに向かう側に 3mm の厚さで、空気に開放された側に厚さ 8mm の特殊な鉛シールドによって取り囲まれていた。その結果、空気中に侵入する放射線は大きな要因(約 1,000)で減衰し、放射能ははるかに小さくなり(50GeV で 2.1kW、85GeV で 360kW)。オゾンが安定しておらず、換気システムがガスを地表に輸送するのに時間がかかることを考慮すると、LEP によって引き起こされた汚染が少数の追加の自動車の運転に対応していると推定することができる。

それにもかかわらず、国民と当局を説得するには努力と時間が必要とされた。他の放射線源も考慮に入れなければならない、周回する粒子の一部は、真空チャンバの壁面で連続的に失われ、放射性物質を生成することがある。さらに、インジェクタシステムは、評価されなければならない放射線を生成した。

土壌と水の活性化の可能性を含め、これらおよび他の多くの影響が注意深く研究された。全体的な結論は、環境および人口に対する LEP の放射線影響の総量はわずかであり、実際には、それを測定することは困難と

された。但し、放射能と有害ガスの集中的なモニタリングシステムが設置され、これはスイスとフランスの管轄機関によって永久に管理される。なお、LEP では、大きな放射線事故は発生していない。

一環境影響

LEP の建設が始まる前に提供されなければならなかった重要な要素の 1 つは、環境に関する研究、すなわちフランスの法律に基づく環境影響評価である。プロジェクトの実行前の環境状態と、プロジェクトの実行後に想定される環境状態を比較することも含まれていた。そのような研究は、地域の人口や当局との良好な関係を確立し、後の法的主張から組織を保護するために必要であると思われた。建設中の外乱(例えば、大型トラックの道路交通、河川の汚染)、運転中のトラブル(例えば、飲料水の不足、騒音、不愉快な景観の不足につながる地下水リザーバの排水)という 2 つの方向に心配がありました。

CERN で長年過ごしてきた非常に有能なフランスのエンジニアおよび管理者である Robert Levy-Mandel は、CERN 及び専門的なサービスの助けを借りて環境調査を実施、約 170 ページの文書が作成され、地理、地質、水文、気候、動植物、生活条件、地元住民の交通活動、水道などの多様なトピックをカバーしている。いずれの場合も、LEP プロジェクトの環境影響をより低く抑えることが必要とされ、地方自治体や政治家と緊密に連絡を取り合い、誤解やコミュニケーションの欠如による問題を避けるための調停の仕組みが設定された。

根絶するのが難しい不安の一つは、飲料水の供給に関するものであった。過去、非常に乾燥した夏の間、村のいくつかで水不足が発生したことがあり、地下貯水池が LEP 建設のために枯渇する恐れに対する懸念が抱かれた。

水文学的研究は、これが事実上不可能であることを示したが、プロジェクト全体を遅らせるような問題を避けるためには、いくつかの村に対して水源の保証に同意することとなった。

複雑な議論に至ったもう一つの問題は、地下から取り除かれるべき岩石の貯蔵に関するものであった。計算では、建設のピーク時に大型トラックが毎日、100～150 台、アクセスシャフトから出発しなければならなかった。このため、地方自治体と協力し、岩石の貯蔵はアクセスシャフトの出来る限り近くでなされるよう配慮され、さらに、これらを積極的に利用することが検討された。放棄された採石場を埋めるために部分的に使用されたり、湿地を緑の土地に変えることに活用された。これらの計画をすべて実現するため、アクセスシャフトと公共道路網を結ぶプライベート CERN 道路が建設され、同道路や部署道路の一部を強化、拡張し、フランス当局といくつかの集落を迂回する道路が建設された。

合計で約 39km の道路が建設され、改善のための資金調達には地方自治体および国家当局と交渉することとなった。総投資額は、中央政府、地方自治体、CERN に 50%、35%、15%の割合で配分され、計 7500 万ユーロとなり、CERN にとって受け入れることができる解決策となった。

一電力消費

CERN は、環境上の理由や財務上の理由から、エネルギー消費を最小限に抑える必要性を常に認識している。LEP にとって、エネルギーの必要性を支配する装置は、粒子の加速のみならず、シンクロtron放射による損失を継続的に補う加速システム全体となる。この消費を可能な限り低く保つために、独創的なアイデアが適用され、結果として、LEP の最大総電力は第 1 段階で約 70MW で、CERN の陽子加速器よりも多少低くなった。これらの電力は、近くの水力発電所から電力を得るフランスの高出力 400kV ラインに接続されており、このエネルギーを現場に送る手段は確保されていた。

可能な限り公的な系統電力への負荷を低く抑えるために、フランス電力会社 EDF と次の合意が締結された。フランスの系統電力は寒い冬の日には電力需要のピークを迎える。フランスの電力の大部分は、原子力発電所によって提供されており、原子力発電所は、一定の基本負荷を提供するのには優れているが、ピーク電力を簡単に供給することはできない。したがって、冬になると、フランスは時には電力危機に直面することがある。そのような事態の影響を軽減するために、CERN は、約 10 日間という短い通知で LEP の動作を停止することに同意した。これは、一方で、CERN に滞在中に事前の警告なしにマシンが停止されたことを受け入れなければならない CERN ユーザーにとって重大な問題を提示した。しかし、CERN の大部分の設備では、優れた性能を保証するために毎年メンテナンスが必要とされており、冬季にこのシャットダウンをスケジュールすることとしている。

—その他の措置

CERN 周辺の住民に対する影響を最小限に抑えるため、他の多くの手段が講じられている。特定の地域の人々の要請に応じて、騒音を減らす、または構造物を隠すため、木や茂みを植え、建物や冷却塔をできるだけ低く設計したり、地元の窪みに建てるなどが実施された。およそ 1,000 本の苗木を約 5 年間育て、アクセスエリアに移植して、地表の建物と景観を調和させることまで実施した。

LER は、CERN のこれまでのプロジェクトと同様に、スイスとフランスの国境の両方の人口に対して、環境にできるだけ干渉しないよう努力しており、LEP 運用の 12 年間に大きな問題は生じていないことは証明されている。一方、この地域は多くの点で LEP と CERN から経済的に利益を得ている。

3) LHC の建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①LHC 計画の技術的課題・製造コスト増

LHC の計画当初、参加国の多くで財政が逼迫していた。CERN 最大の出資国であるドイツでは、東西ドイツ統一のための財政コストが増加し、また、他の CERN 加盟国においても、EU 創設のマーストリヒト条約の条件を満たすために財政支出が増加していた。1996 年 12 月の理事会において、ドイツが「LHC には大きなリスクが避けられない」と宣言したが、CERN は、銀行からのローンにより建設費不足を補填すること、建設状況を鑑みて完成年を調整すること、という条件付きで、LHC の建設案を承認した。

当初は、2005 年に LHC 加速器を完成させる計画が立てられたが、技術的課題や建設コスト増加が課題となり、2001 年に、CERN が当初想定していたコストを 18%程度上回ることが明らかになった。そこで、CERN は、CERN の 2008 年までの予算を「前借り」することで建設費用を賄うと同時に、完成時期を 2008 年に変更する決定をおこなった。

②LHC 計画に従事する研究者の処遇の公平性

LHC 計画では、加盟国・非加盟国それぞれの研究機関との雇用を維持したまま CERN に派遣されることが認められており、研究者によって報酬や待遇にばらつきが生じ、公平性が担保されていないことが課題として認識されている。CERN として、同課題に対して具体的な対策は講じていないが、中長期的にプロジェクトを推進する上では、望ましい推進体制を検討する必要があると認識されている。

③工事開始後の予期せぬ自然障害の発見・発生による設計・工事費用の増加

[予期せぬ岩盤発見による地下構造物の設計変更]

LHC 地下空洞を支える柱建設中に予期せぬ岩盤が出現し、柱の位置の移動に係る再設計を余儀なくされた。再設計では、空洞に巨大な鉄骨梁が新たに導入され、当初設計よりも多くの鉄筋補強、コンクリートが必要になった。CERN は措置されていた予算から資金拠出を行い対応した。

[大規模な出水発生による対策工事費の増加]

LHC の CMS のメインシャフトに大規模な出水が発生し、対策工事は、当初予定されていなかった別の契約が締結され、実施されなければならなかった。

CMS では「地中凍結」(Ground Freezing)の方法をとった。この工法は、地中に直径 15cm ほどのステンレスパイプを差し込んで、液体窒素を注入するなどして地下水を凍結させるというものである。

顕著な地下水流は LN2 を用いて凍結され、CMS 実験ホールへの大きな垂直軸作業が安全に実行された。

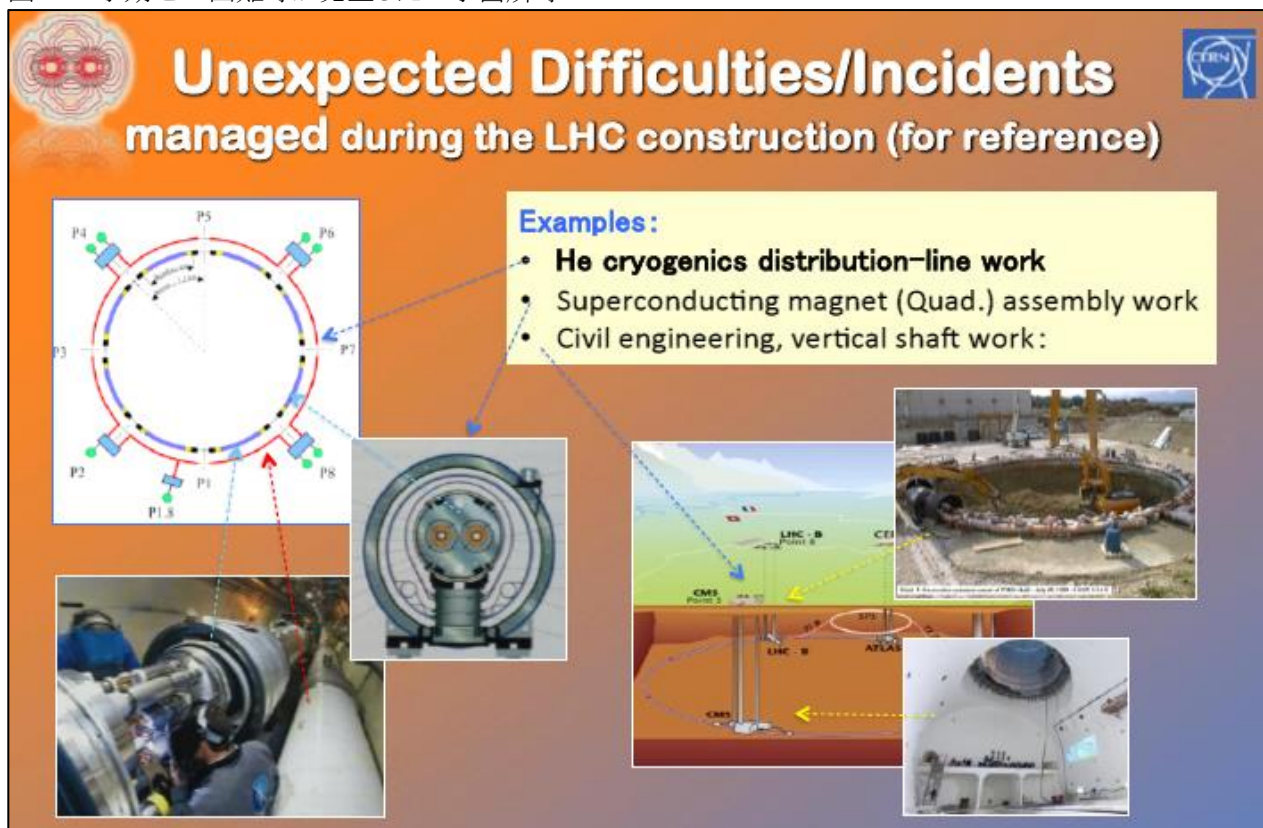
その中で、環境保護は、地域社会との緊密なコミュニケーションの中で注意深く配慮された。

[LHC トンネル内での液体ヘリウムの分配/移送ライン作業]

液体ヘリウムの搬送ラインにおいて、重要なサブコンポーネントが仕様に従わず製造され、所定の運転が不可能となり、作業が停止した。

これに対して CERN のスタッフは、問題の原因を確認し、設計の変更を指示し、契約した会社と協力して、問題を克服し、タイムラインを回復させた。

図 34 予期せぬ困難等が発生した工事箇所等



出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)(文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))

④ 工事期間中における契約事業者(企業)の破産によるプロジェクト費用の増加

契約した会社に経営管理上、大きな問題があり、工事が停止、契約会社で組み立てるために送付されていたサブコンポーネントは CERN に送付され、全四極磁石アセンブリ場所も CERN として、製造が継続された。タイムラインを回復するために、アセンブリ作業は地元の労働契約が別途結ばれ、実施された。

このベンダーのうちの 1 社の破産は、磁石クライオスタットのコストに 700 万 CHF のオーバーランを発生させた。CERN は措置されていた予算から資金拠出を行い対応した。

⑤ 製造下請事業者が発生したトラブルによるスケジュールの遅延

超伝導マグネットに液体ヘリウムを供給するライン、Cryogenic Distribution Line (QRL) の製造下請業者で発生したトラブルにより、CERN との契約事業者は、発注された機器の生産ができず、また契約事業者が下請業者と共に現場での据付工事の準備ができなかった。

その際に、必要な書類の作成や、オンサイトにおける下請業者に対する適切な管理体制が構築されるまでの間、契約業者は現場での作業を中止しなければならなかった。

この作業遅延によって、ベースラインのスケジュールに比べて QRL 導入に約 13 週間の遅れが生じた。

遅延は生じたものの、適切な仕様、トレーニング、管理体制がないまま作業を継続していた場合に比べ、作業を停止することでほぼ確実にこれらの問題をより迅速に解決できた。

⑥ 建設期間中におけるサプライチェーンマネジメントに伴うリスク

CERN は、LHC の多くのコンポーネントや道具(tooling)を直接管理した。技術的同質性、品質の保証、規模

の経済性、早期買い付け(素材等)、供給の安定性確保、調達先企業のバランス化などの利点による。

一方で、交渉調整の責任、業務負荷、遅延賠償責任、輸送・保管・ロジスティクスの負担などが発生するというリスクも抱えた。

図 35 LHC 計画のサプライチェーンマネジメントに関して認識されているベネフィットとリスク例

INTEGRATED SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

**CERN took care of most components
The same can be said for the main tooling**

<u>Benefits</u>	<u>Risks & drawbacks</u>
<ul style="list-style-type: none">● Technical homogeneity● Quality assurance● Economy of scale● We could advance the purchasing● Security of supply● Balanced industrial return	<ul style="list-style-type: none">● Responsibility interface● Additional workload● Liability for delays (just in time!)● Transport, storage & logistics: we have moved 120,000 tonnes around Europe (5 TIRs a day for 5 years)

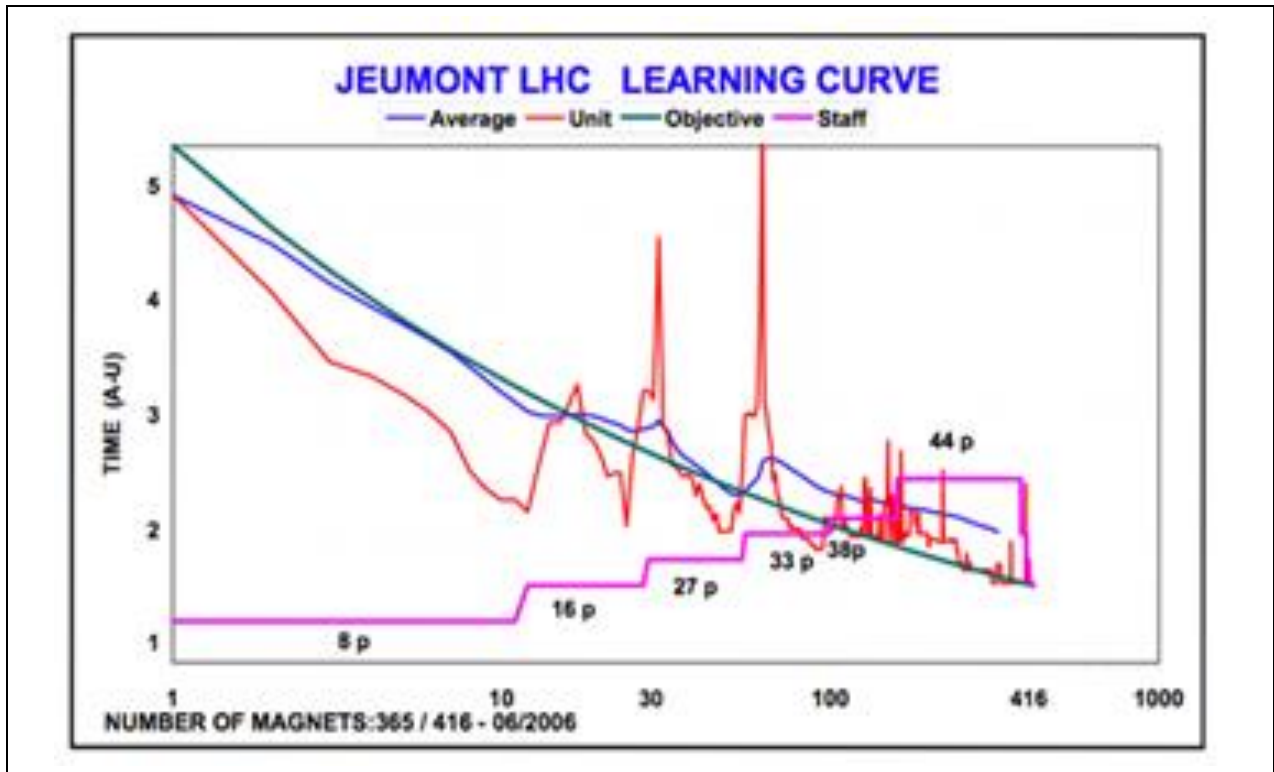
Lucio Rossi -LCW Desy, 30 May 07 - 42

出典 CERN

⑦建設期間中の作業員の質低下によるリスク(LHC 超伝導磁石のラーニングカーブ)

LHC 磁石の製造数と製造時間の関係を示している。製造時間が跳ね上がっているところは、作業員数が増えた時(8人→16人、16人→27人、27→33人等)である。作業員の訓練が非常に重要であることを示している。

図 36 LHC 超伝導磁石のラーニングカーブ



出典 CERN

⑧ 運転開始直後の単純施工ミスによるヘリウム漏れ事象の発生

LHC 運転開始直後の 2008 年 9 月 19 日に大量のヘリウム漏れによる事象が発生した。同年 12 月 5 日、CERN は正式なコミュニケを出し、2009 年 6 月末に再稼働させると発表した。

■ 原因は、ケーブル結線部の発熱による溶解：

超伝導磁石の電流コイルのケーブル結線部(1カ所)の繋ぎ方に不具合があった(約 10,000 ある結線部中の 1 つ)。陽子ビームの全周成功の9日後に、5TeV 相当の電流を超伝導マグネットに流して試験している最中に、その部分で抵抗値が増し、発熱(アーク)によりヘリウム容器に穴が開き、冷却用の液体ヘリウムが漏出。液体ヘリウムが気化する際の膨張圧力により他の超伝導磁石を押し、磁石間の接続がずれた(600メートルに及ぶリング部分の 53 台)。

図 37 発生した磁石間の接続のずれ



出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

■超伝導磁石の修理に時間を要する:

53 台のマグネットのうち、16 台は修理して再使用し、37 台はスペアのマグネットと交換された。全磁石の修理据付が終了したのは 2009 年 4 月。事故発生から、7.5 ヶ月を要した。

■事故を受けて対策が強化

事故後の対策として、発熱の個所をすぐ発見できる温度モニターの多数設置、液体ヘリウムの圧力解放バルブの増強等、事故防止策が運転初期段階で講じることができた。

⑨その他の主な発生事象

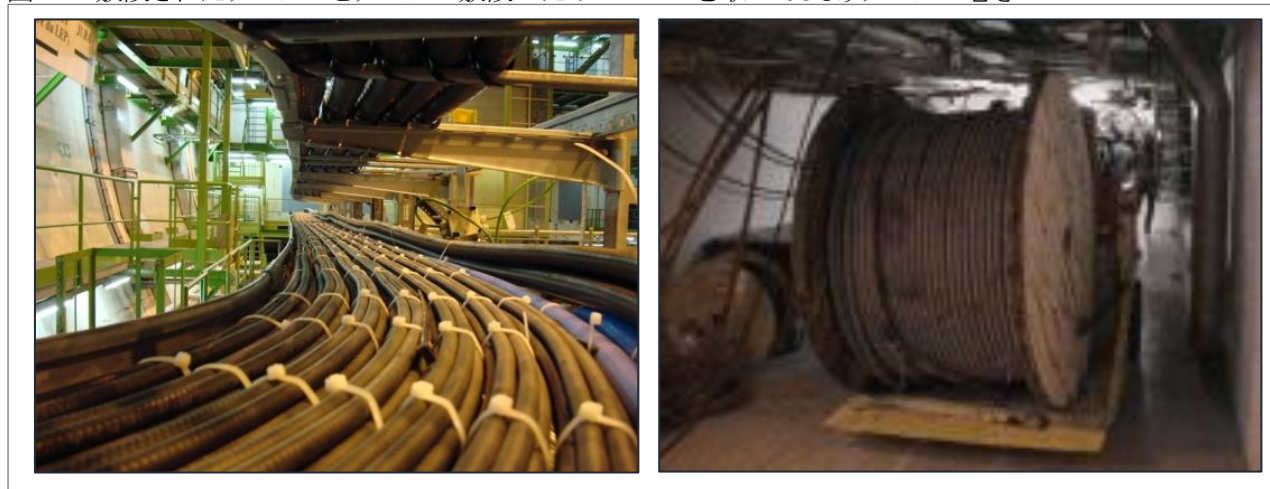
[土木工事期間のフランス労働法の変更]

フランスの労働法の変更を受け、週の労働時間 35 時間制が導入され、土木工事の大幅なスケジュール変更を余儀なくされた。これに対して、コスト上昇の課題が浮上し、固定価格契約導入に係るディスカッションが開始された。

[ケーブル敷設、一般電力供給装置に係る問題]

4,500km 以上のケーブル敷設に対して、当時は 3D 設計書が存在しなかったことから、2 つの事業者の施工にズレが生じ、また、大量のケーブル発注に対して品質問題を抱えることとなった。

図 38 敷設されたケーブルとケーブル敷設のためスペースを取ってしまうケーブル巻き

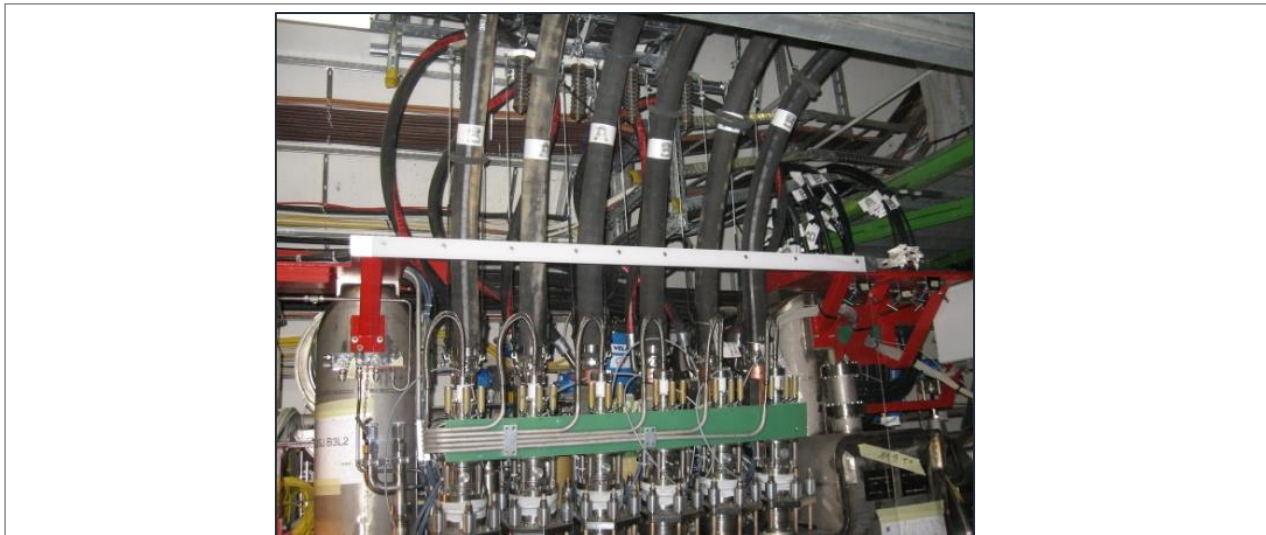


出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

[冷却ケーブルの設置に係る問題]

機械的な展望が未熟で、委託事業者のみでは解決できない問題が山積し、スケジュールが信頼できないものとなり、CERN の中に専門家チームが組織され、問題の解決に当たらざるを得なかった。

図 39 設置に機械的な問題が発生した水冷・電力ケーブル

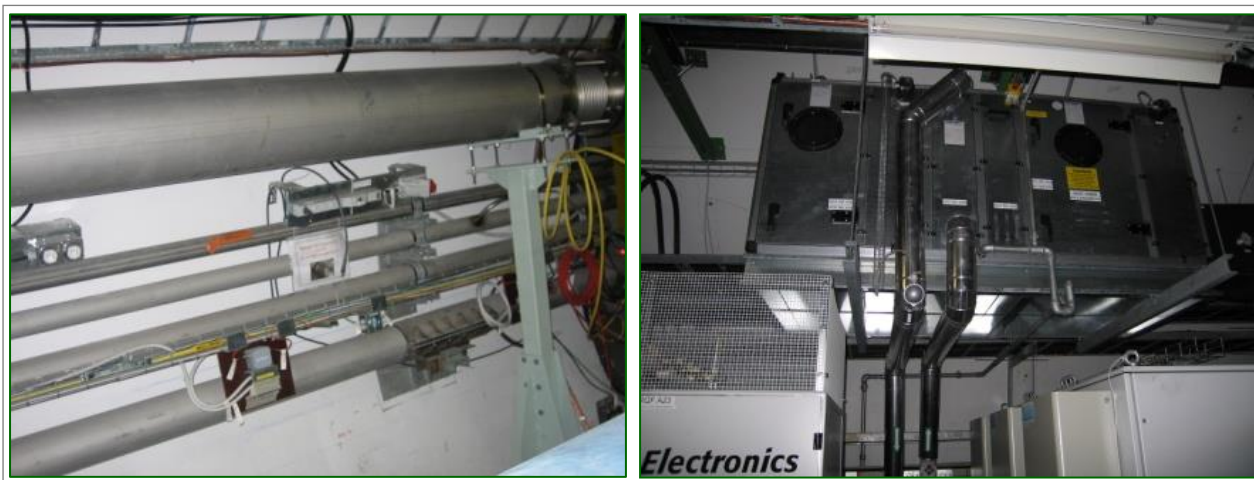


出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

[冷却パイプ及び換気装置設置に係る問題]

160km に及ぶ一次冷却パイプと 8km に及ぶフレキシブルパイプの設置について、当初想定していた設置スピードに達したのは 4 つ目のセクターに入ってからとなった。

図 40 設置された冷却及び換気装置



出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

[クライオジェニクの設置に係る問題]

クライオジェニクの設置は、低温装置の設置とそれを結ぶパイプラインの設置に分けることができる。

低温装置は工区が離れた場所での設置であったことから、複数の委託業者によるスムーズな設置が進んだが、パイプラインについては、27km を一つの委託者により実施する工事であり、開始 1 ヶ月で様々な技術的な問題が発生し現場が停止、CERN 内に特別なチームが設置され、修復と再設置が進められた。

この遅延は、他の行程のスケジュールに併せるため、必要とされていた低温下での化学的なテストがキャンセルされるなどの影響を及ぼし、狭いトンネル内の低温磁石の保管場所の問題でトンネル内の物流を滞らせることとなった。

図 41 順調に工事が進んだ低温装置の設置(左)と難工事となった冷媒分配パイプラインの設置



出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

[低温磁石のトンネル内への装入に係る問題]

1,700 以上の低温磁石(一つ重さ 34 トン、17m)が一つの縦坑から最大時速 3km で装入された。また、狭いトンネル内での取り回しも課題となった。

図 42 一つの縦坑から装入された低温磁石と狭いトンネル内での取り回し



出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

[低温磁石の接続に係る問題]

10,000 箇所の手付け、60,000 箇所の超音波溶接は、想定されたスピードに達したのは 3 つめのセクターとなった。

図 43 低温磁石の接続部分の工事の様子



出典 Strategy and lessons learned from LHC installation/K. Foraz

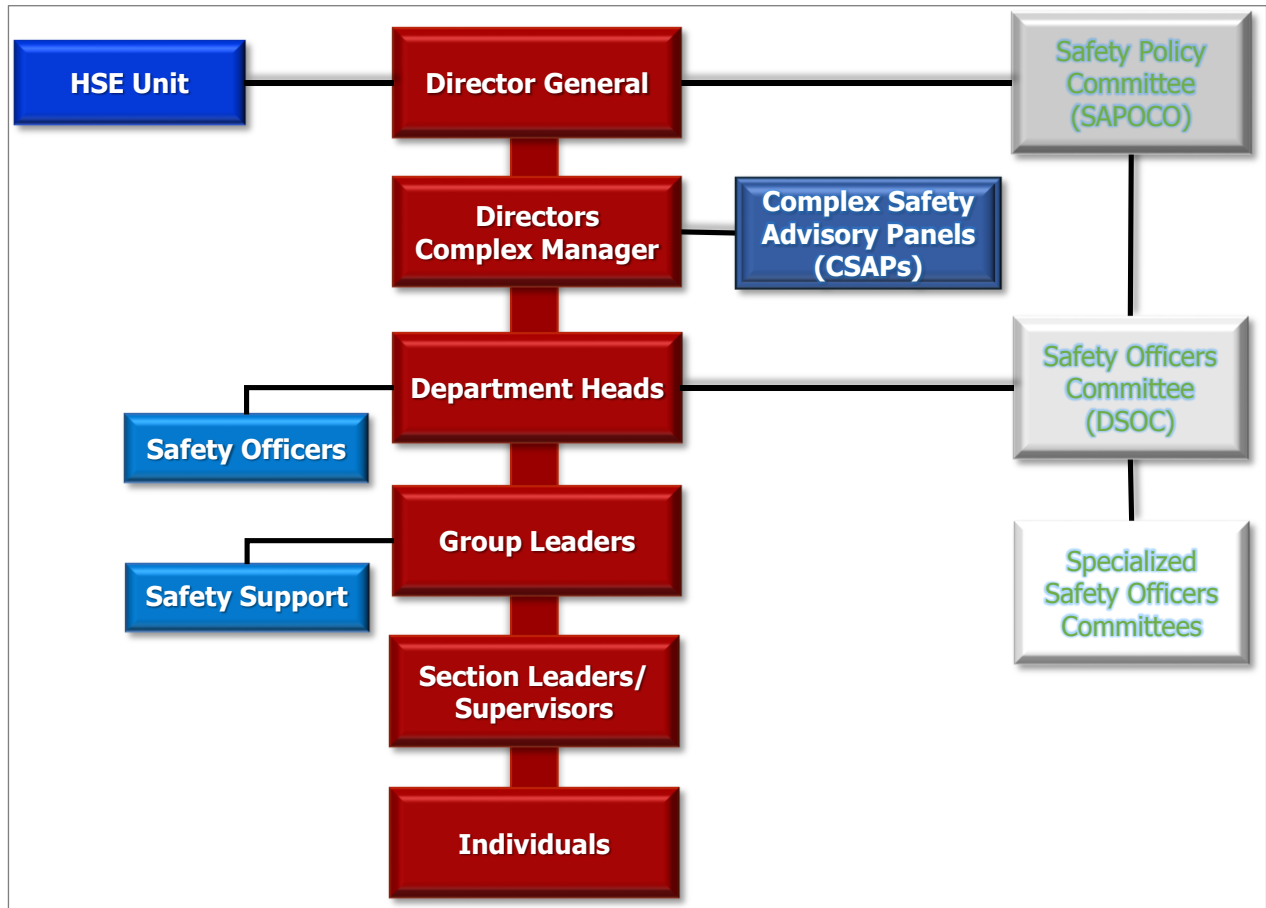
4) LHC の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

①CERN の安全管理体系と仕組み

[安全管理に係る基本的な体系]

CERN では、安全管理に係る体系も、命令系統 (Line) に沿って確立されている。

図 44 CERN の安全管理に係る体制



出典 NRI visit at CERN, 30 November 2017, A. Goehring-Crinon, HSE -DI

但し以下の事項については、特別な配慮が求められている。

- ・ 放射線防護は放射線防護グループの専属責任となる。
- ・ 職業医学は、医療サービスの専属責任となる。
- ・ 実験の具体的な状況、特に LHC 実験に関して、考慮した特別な組織的措置 (複雑かつ高価な機器を操作する非常に大きな自律的協調の確保)

上記に見られる通り、安全管理のトップには Director General が位置づけられ、職員規則および規定に従って、Director General は CERN 安全方針の定義とその実施に関する適切な措置についての助言する委員会を任命する。

HSE ユニット (労働安全衛生および環境保護ユニット: The Occupational Health & Safety and Environmental Protection Unit) は、労働安全衛生、消防救助の準備と対応、および環境保護の問題を抱える組織な単位であり、

- ・ CERN 安全方針、CERN 安全規則、CERN 安全目標およびすべてのレベルでの最優実践の実施を支

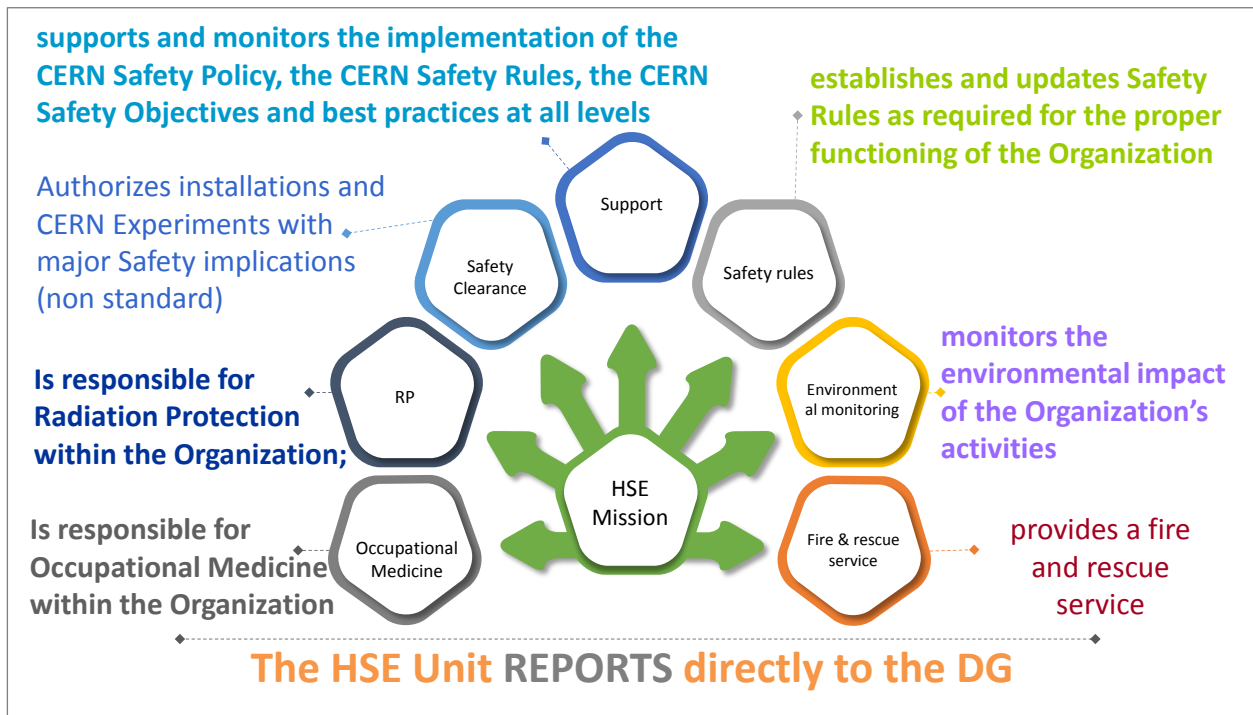
援し監視する。

- ・ 組織内の放射線防護に責任を負う。
- ・ 組織内の職業医学(Occupational Medicine)に責任を負う。
- ・ 消防および救助サービスを提供する。
- ・ 組織の活動による環境への影響を監視する。
- ・ 組織の適切な機能のために必要とされる安全規則を確立し更新する。
- ・ 特別な機器、活動、プロジェクト、および CERN 実験を含め、設置には安全上の重要な意味を持つ安全上の許可を与える。

具体的な取り組みの範囲は、次の通り。

- ・ 安全問題についての訓練、情報及び意識向上を提供する。
- ・ 企業内のコミュニケーション共に、外部とのコミュニケーションに関連する CERN サービスへのアシスタントを通じて、安全の問題における積極的なコミュニケーションを支援する。
- ・ 組織の安全性能、特に放射線防護及び環境保護に関する定期的な報告書を作成し公表する。
- ・ 保安上の問題に関して主催国との協力について総監を補助し、CERN のこの分野における協定の実施を調整する。

図 45 HSE Unit の取り組みの範囲



出典 NRI visit at CERN, 30 November 2017, A. Goehring-Crinon, HSE -DI

表 31 HSE Unit の具体的な取り組みの範囲

種 類	適用される法規制等
放射線防護	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電離放射線に対する防護措置を定め、その実施を監視する。 ・ 設備、活動、プロジェクトおよび CERN 実験の放射線被ばくを評価し管理する。 ・ CERN 放射線区域で働く全ての人の線量監視を確実にする。 ・ 放射性物質および放射性廃棄物の管理および取り扱いを担当する。
労働安全	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全上の問題に関して、リスクアセスメント、リスク軽減、リスクコントロールに関する専門家のサポートを提供する。 ・ とりわけ、教訓やベスト実践に基づいて安全性の改善を提案する。 ・ 具体的な安全監査と安全検査により、特に安全問題の遵守状況を監視する。
職業医学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 職員の雇用者の健康を監視し、職務遂行の適性について助言する。 ・ CERN の活動に参加している人やそのサイトにいる人の健康の保護に貢献する。 ・ CERN サイトで初期的な医療処置を提供する。 ・ CERN との間の合意に従って、関連するサービス主体(緊急医療チーム等)と協力、実施する ・ 労働事故および病気の予防および検出を支援する。 ・ 仕事に関連する心理的問題の予防を支援する。
消防救助サービス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時の準備と対応を支援する。 ・ CERN とホスト国との間の協定に基づき、関連するサービスと協力して、人の身体的完全性を保護し、最小限にするために、1 日 24 時間、週 7 日、火災救助サービスを提供する 可能な限り、環境および財産の損害および CERN の活動の中断を回避する ・ 事象が発生した場合、CERN を代表して、ホスト国や外部の関係主体とコンタクトする。
環境保護	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境への影響を抑制する取り組みを支援する。 ・ 組織の活動の影響を監視し、報告する。
CERN 安全規則の策定と更新	<ul style="list-style-type: none"> ・ 活動に関連したホスト国の規制、欧州指令、国際基準、ベストプラクティスの進展と新たな傾向についての見識を持ち続ける。。 ・ 組織の適切な機能のために必要とされる安全規則を確立し、更新する。 ・ 専用ウェブサイトにて CERN 安全規則を公表し、関連文書が入手可能であることを確保する。
安全認可 (Safety clearance)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特別な機器、活動、プロジェクト、および CERN 実験をデザインし、操作主要な安全意味に含めているか、または解体する設備のための安全クリアランスを与える。

出典 SAFETY REGULATION SR-SO RESPONSIBILITIES AND ORGANISATIONAL STRUCTURE IN MATTERS OF SAFETY AT CERN

ラインに沿った各主体の役割は次の通り。なお、CERN Experiment とは、Large Experiment と Experiment のことであり、Large Experiment とは、ATLAS、CMS、ALICE、LHCb およびこの安全規制、実験の目的のために大規模な実験とみなされるべきであると主催部が考える他の実験大規模な実験以外の承認された実験および活動実施する認知された実験、その他、CERN での安全性に影響を与える活動とされている。

表 32 CERN の安全管理に係る各主体の役割

主体の名称	主体の役割
Director-General	<ul style="list-style-type: none"> Director-General は、最終的に CERN の安全に関する責任を負うが、適切な措置を講じ、CERN における設備の導入、活動、プロジェクト、および実験に対して必要な手段を利用して、現場に存在するすべての人の安全を確保する。また、安全方針と安全規則を制定、更新し、定期的に組織の安全目標を定めなければならない。
Directors	<ul style="list-style-type: none"> 各 Director は、担当の部局及び、設備の設置、活動を含む責任下にある大規模実験で、CERN 安全対策方針、CERN 安全規則、CERN 安全対策目的およびベストプラクティスの詳細安全を踏まえ、責任を負う。 Director は、自身の責任の下で部局と大規模実験のために必要な手段を講じることができる。 各 Director は、Director の責務に基づく活動およびプロジェクトの安全に責任を負う。この目的のために、Director は他の Director と協力し、必要に応じて、その責任の下にある部署と大規模な実験が他の部署や大規模な実験と協力するようにする。
コンプレクスマネージャー (Complex Manager)	<ul style="list-style-type: none"> コンプレクスマネージャーはすべての CERN コンプレクスの安全な運用に責任を持ち、関係する部署および大規模な実験がこのために必要な措置を講じることが保証するものとする。Director-General は、それらのすべてとの協議の上、Director の中から彼を任命するものとする。
複合安全諮問委員会 (Complex Safety Advisory Panel (CSAP))	<ul style="list-style-type: none"> 複合施設管理者は、各複合施設に対して複合安全諮問委員会 (CSAP) を任命する。 CERN の安全規則には、その委任事項が記載されている。
部局長(Department Heads)	<ul style="list-style-type: none"> 各部局長は、設備導入や活動の安全を含む部局の安全に責任を持ち、それらは、CERN 安全方針、CERN 安全規則、CERN 安全性、CERN 安全目標及びベストプラクティスの実施を含む。 各部局長は、装置の安全活動の責任を負う。活動、プロジェクトが他の部署または大規模実験の責任者と安全に相互作用できるよう、必要な措置を講ずる。
グループリーダー	<ul style="list-style-type: none"> 各グループリーダーは、設備導入や活動の安全を含むグループの安全に責任を持ち、それらは、CERN 安全方針、CERN 安全規則、CERN 安全性、CERN 安全目標及びベストプラクティスの実施を含む。 各グループリーダーは、設備の安全なインタラクションを保証するために、必要な手段を採用し、管理する活動やプロジェクトの責任を負う。
セクションリーダー	<ul style="list-style-type: none"> 各部門責任者は、設備導入や活動の安全を含むセクションの安全に責任を持ち、それらは、CERN 安全方針、CERN 安全規則、CERN 安全性、CERN 安全目標及びベストプラクティスの実施を含む。 各部門責任者は、彼の責任範囲の活動、プロジェクトが他の者の責任において安全に相互作用できるよう、さらに必要な措置を講ずるものとする。
監督者(Supervisors)	<ul style="list-style-type: none"> 監督機能をもった各個人は、その職務と責任レベルに合致した安全責任を有するものとする。

主体の名称	主体の役割
安全オフィサーおよび安全サポート担当者(Safety Officers and Safety Support Officers)	<ul style="list-style-type: none"> ・ CERN における実験の安全オフィサーおよび安全サポート担当者は、必要な人員を雇用するものとする。LERGLIMOS の場合を除き、CERN における実験の安全オフィサーおよび安全支援役員は、雇用者または関係者のいずれかとなる。 ・ セーフティオフィサーまたはセーフティサポートオフィサーの各任命は書面で行う。任命書は、適用される CERN 安全規則に従って、機能とそれらを達成する手段を明確に明記しなければならない。指定された安全管理者または安全サポート担当者の任務を定める CERN 安全規則は、各任命のために相談する人または団体を指定しなければならない。 ・ 各安全責任者と安全支援責任者は、必要な能力と経験を有し、その職務を果たすために十分な訓練を受けなければならない。各タイプの安全管理責任者と安全サポート担当者の能力、経験、および必要な訓練の最低要件は、SafetyGuideline に記載されている。 ・ 各安全管理者が不在の時に代理人を代理する必要がある。

出典 SAFETY REGULATION SR-SO RESPONSIBILITIES AND ORGANISATIONAL STRUCTURE IN MATTERS OF SAFETY AT CERN

[協力機関の安全性に関する責任]

各共同研究機関は、CERN の活動、CERN のサイトに持ち込まれた設備、CERN の現場にいる人員が CERN の安全方針、ベストプラクティスおよび適用法を遵守するために必要な措置を講じる。CERN における実験への参加を含め、CERN の活動に適用される文書に規定された特定の安全要件に特に注意を払うものとする。

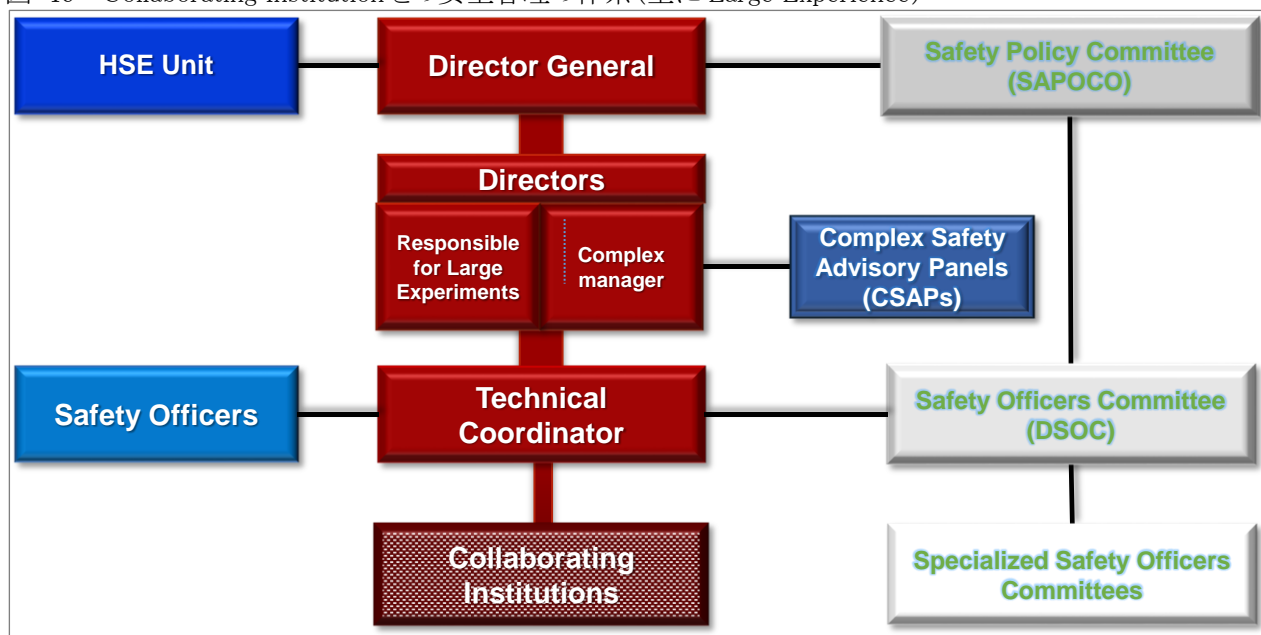
協働機関は、適用法に基づいてその職員に対して雇用主としての安全義務を遵守させる。各共同研究機関は、特に以下を行う。

- ・ サイトおよび CERN における実験で行った活動に関連して、安全性のすべての側面について情報を保持する。
- ・ 現場にいる人員が、訓練や情報を含む安全上の義務を果たすための適切な手段を確実に受けるために必要な措置を講じる。
- ・ 必要に応じて、安全ファイルと安全フォルダの確立と更新に貢献する。
- ・ 参加する CERN における実験の安全性向上に貢献する。
- ・ ホスティング部門または、HSE ユニット、CERN ユーザーオフィスと必要に応じて協力する。

各共同研究機関は、参加する CERN 活動または CERN における実験ごとに、安全上のコラボレーション機関と CERN との接点となる安全特派員を任命する。共同研究機関は、複数の活動および/または CERN 実験のために 1 名を安全特派員に任命することができる。

テクニカルコーディネーター(TC は CERN スタッフ)は、安全に関する事項(保証人としての役割)を代表する。TC の責務は、部署長の場合と同様で、大規模実験の責任者に報告し、専用の安全担当者により支援される。

図 46 Collaborating Institution との安全管理の体系 (主に Large Experience)



出典 NRI visit at CERN, 30 November 2017, A. Goehring-Crinon, HSE -DI

共同研究機関が CERN に送った研究者は、CERN の職員の規則の対象となり、一定の特権と免責を受けるが、それらの職員の身分は、元の研究機関の従業員である。

[請負業者の安全に関する責務]

各請負業者は、CERN における活動、CERN 現場に持ち込んだ機器および現場にいる従業員が CERN 安全方針、ベストプラクティスおよび適用法 (CERN 安全規則を含む) に従うことを確実にするために必要な措置を講じる。契約に規定された特定の安全要求事項に特に注意を払う。

請負業者は、さらに、適用法に従った使用者としての職員に対する安全義務を遵守するものとする。各請負業者は、特に以下を行わなければならない。

- ・ CERN における契約上の義務履行に関連する安全性のすべての側面について、自ら情報を保持すること。
- ・ CERN の現場にいる職員が、訓練や情報を含む安全上の義務を果たすための適切な手段を確実に受けるために必要な措置を講じる。
- ・ CERN に所属する関係者が関わる事象を CERN に通知し、CERN と協力して事件の記録を審査し、適切な措置を講じる。
- ・ 必要に応じて、CERN および管轄の国内当局に指名された連絡先と連絡を取る。

各請負業者は、現場で実施する契約ごとに、安全担当者 (Safety Correspondent) を任命しなければならない。複数契約の場合は、一人の安全担当者を任命する。

[個々の責任]

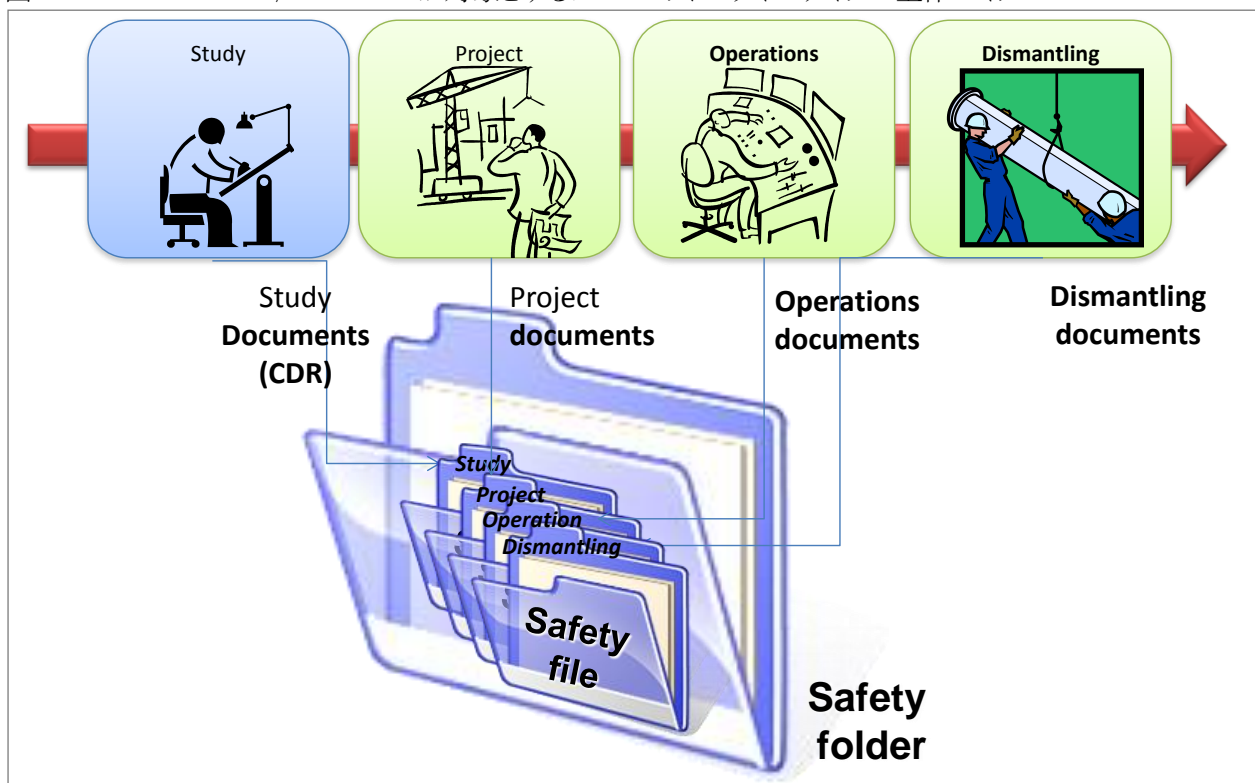
組織の活動に参加する、または現場に存在する各人は、模範的な行動、特に CERN 安全規則、CERN 安全目標およびベストプラクティスへの遵守、積極的に求めて、CERN 安全政策の実施に積極的に貢献するものとする。リスクを最小限に抑え、自分自身や他人の危険な状況を回避し、安全に割り当てられた責任を実

行するための情報を積極的に探索する。

[安全ファイル/フォルダ(SAFETY FILES/FOLDERS)]

CERN では、プロジェクトの包括的な管理を目的として、SAFETY FILES/FOLDERS を導入している。これは、プロジェクトのスタディの段階から、建設、設置、運営、除却までのライフサイクル全体に係る文書を一元的に管理する手法である。

図 47 SAFETY FILES/FOLDERS が対象とするプロジェクトのライフサイクル全体のイメージ



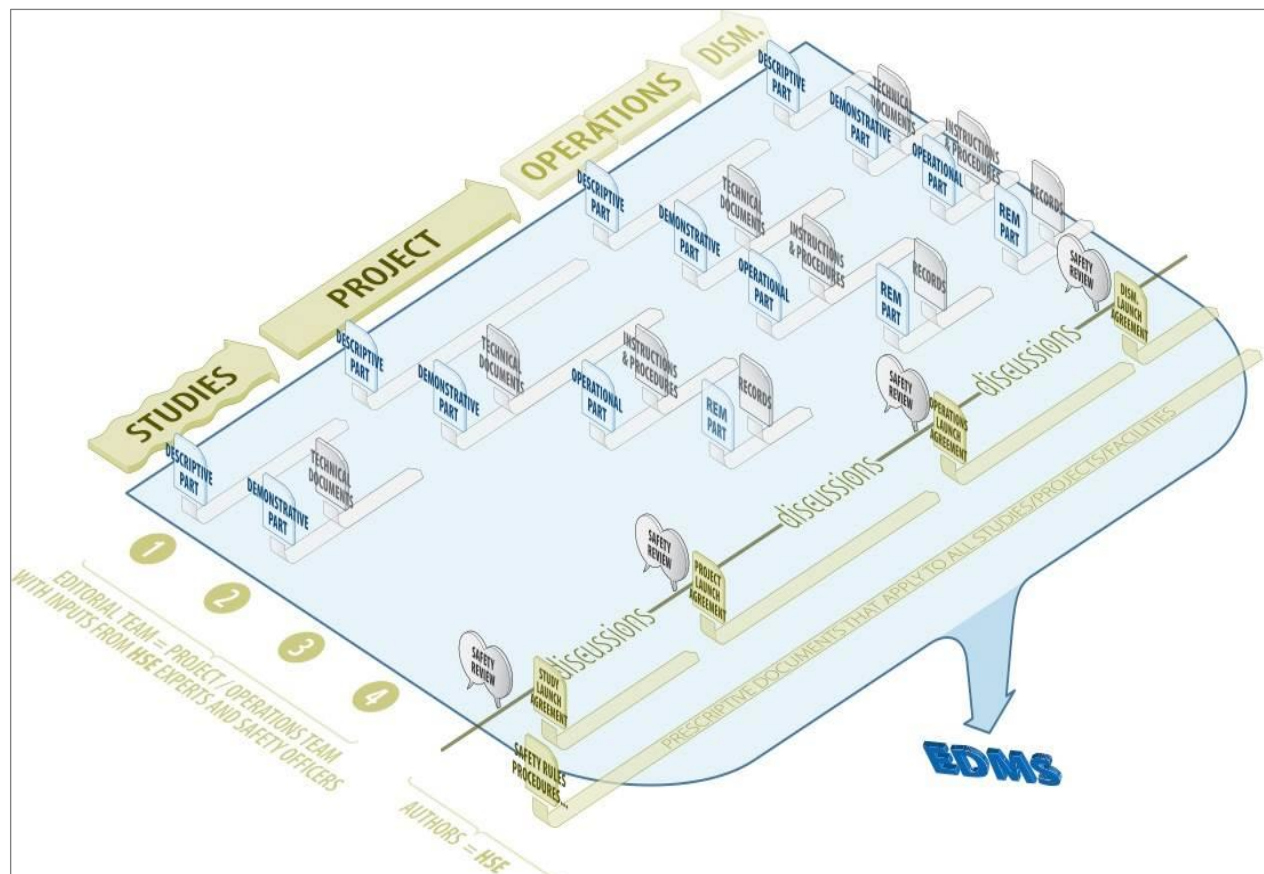
出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

まず、各プロジェクトの責任者が活動内容、導入した機器(実験のための装置を含む)、設備に関する情報を安全性分析やスタディによって明らかとされたその取り組みに求められる安全要求を含めとりまとめる。

まとめられた文書は、オンラインのストレージに設置された Safety folder に格納され、その内容は CERN 外部の機関に対して、CERN の安全管理に係る能力等を説明するために活用される。

なお、この文書は、HSE によりレビューが実施され、プロジェクト実施の判断に用いられる。

図 48 SAFETY FILES/FOLDERS の運用イメージ:CERN の技術文書管理システム(EDMs)に格納される



出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

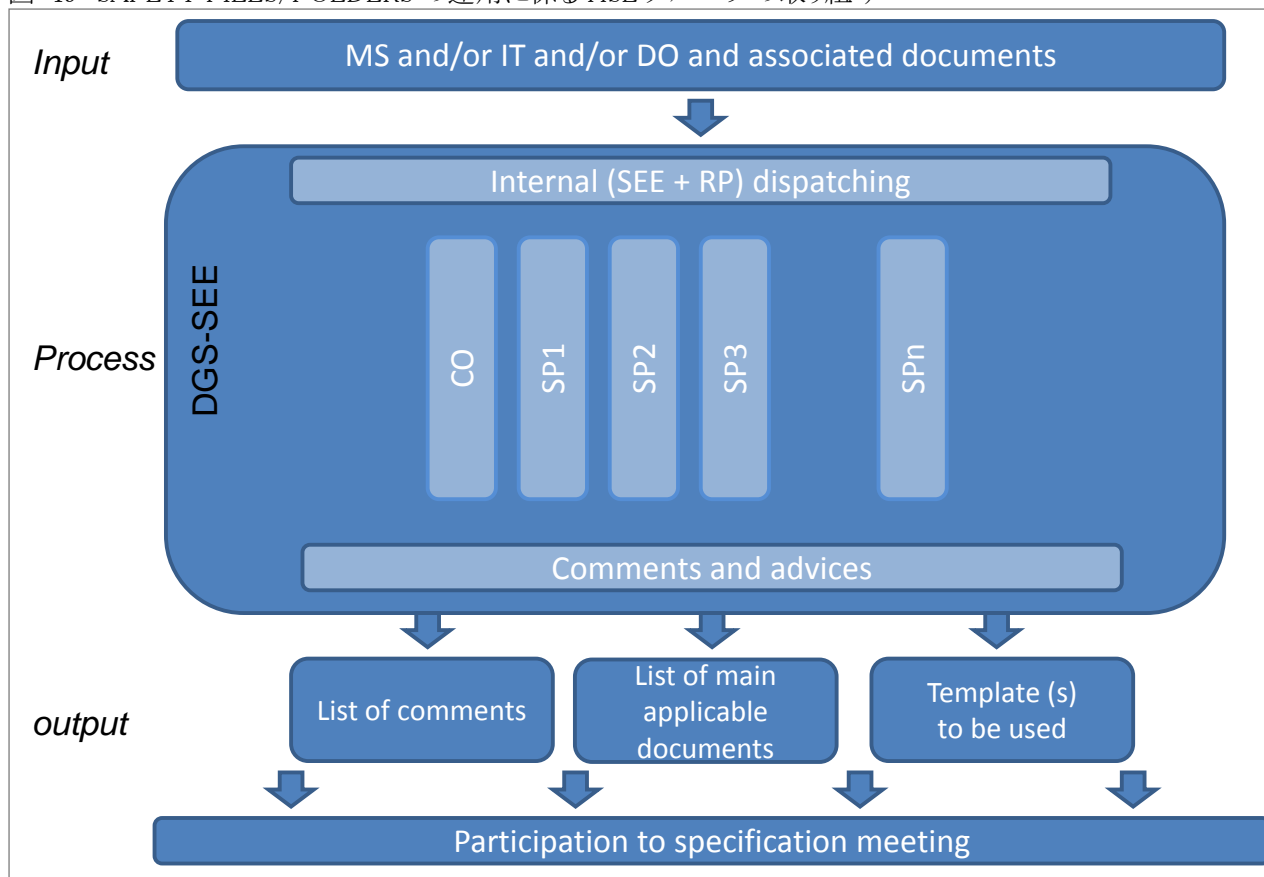
※ 大型ハドロンコライダープロジェクトで電子データ管理機能を提供することを目的として、90年代に CERN に EDMS が設立された。これにより、幅広い分野をカバーする大量のエンジニアリング情報の保存、管理、整理、配布が可能になった。システム機能に加えて、EDMS サービスは、対応する方法論と手順の開発と公式化をサポートしている。

CERN では、プロジェクトのライフサイクルは 25 年から 40 年に及ぶ可能性がある。したがって、管理された品質文書を維持することが不可欠である。現時点では、エンジニアや技術者だけでなく、世界中のさまざまな場所にある装置を提供する製造業者にも、さまざまなコンポーネントの設計、構築、保守に関する情報が入手可能で、アクセス可能で無ければならないと考え、設計、製造、設置、メンテナンス、廃止まで、コライダーのライフサイクル全体をサポートすることが EDMS の目的とされている。

EDMS は、プロジェクトチームに、プロジェクトや施設のデータやドキュメンテーションが長期的に組織され、検証され、取り出せるようにする手段を提供する。

HSE グループは、ドキュメントを受領した後、検討に際する担当者 (Correspondent) を任命し、グループに属する各専門家 (Specialists) による検証チームを立ち上げ、必要な指示を会議の場で発する。

図 49 SAFETY FILES/FOLDERS の運用に係る HSE グループの取り組み



出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

これらの取り組みの結果は、プロジェクトリーダーにより Launch Safety Agreement という文書にまとめられる。文書の作成は以下の手順を踏むこととされている。

表 33 Launch Safety Agreement の作成手順

<p>手順1: できるだけ早く、プロジェクトリーダーと DGS-SEE 管理職によって任命された HSE 担当者は、プロジェクトに関連する安全性の側面を共有/識別するために、“安全性ディスカッション”を開始する必要がある</p> <p>手順2: HSE 担当者は、HSE の専門家に、プロジェクトに合わせて適用される安全規則/要件/処方と、プロジェクトライフサイクル全体にわたって必要とされる関連安全性をチェックする。</p> <p>手順3: HSE 担当者は、安全協定を書いてプロジェクトリーダーに文書を送付、安全事項の優先連絡者となる。</p>
--

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

典型的な Launch Safety Agreement の内容は次の通り。

表 34 典型的な Launch Safety Agreement の内容

<ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. プロジェクトの概要、組織、主要なマイルストーン 3. 識別された主な危険のリストと関連する安全領域 4. 安全上の必要条件 5. プロジェクトに合わせた安全要件、CERN 安全規則、ホスト州規制、EU 指令、国際規格、ベストプラクティスに基づく定義。例えば 機械、電気、化学... 6. 安全ファイル/フォルダに必要な内容:安全ドメインに関する文書とデータリスト。例えば 機器、設備、活動、プロセス、プロジェクト、実施された予防措置または是正措置のライフサイクルの全段階のリスクアセスメントに関連して、機械的、電氣的、化学的…関連する組織の措置(手続き、指示)、および安全関連の側面に関するフィードバック。

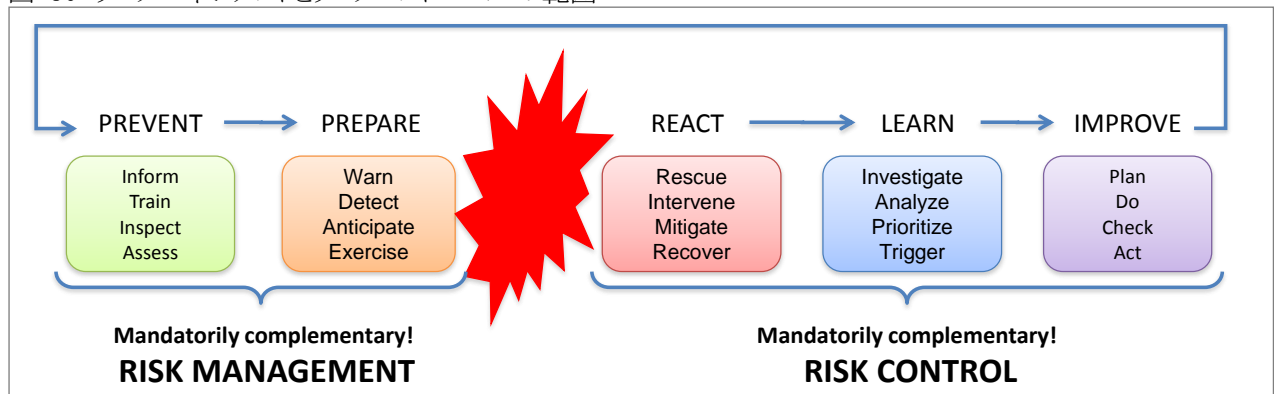
出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

この文書は、異なる作業場や作業内容の責任者等に当該責任者に関係する部分がハイライトされ配布することで、安全が確保されることとなる。

[リスクマネジメントとリスクコントロール (ISO31000 に準拠した取り組み)]

CERN では、ISO31000 に準拠し、リスクマネジメントとリスクコントロールを分けて運営している。

図 50 リスクマネジメントとリスクコントロールの範囲



出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

リスクの状況について、NORMAL、INCIDENT がリスクマネジメントの範囲、ACCIDENT、ACCIDENT (Requiring external assistance)、MAJOR ACCIDENT、CRISIS がリスクコントロールの範囲として分類され、脅威やハザードの特定、発生確率と影響によるリスク分析、リスク回避方策の検討、残留リスクの受容性、リスクへの備え、緊急時の対応と緩和措置、継続した対応、回復措置が検討される。

図 51 リスクマネジメントとリスクコントロールの対象と対応の全体像

Situations		NORMAL	INCIDENT	ACCIDENT	ACCIDENT <small>Requiring external assistance</small>	MAJOR ACCIDENT	CRISIS
1	Threats / Hazard	NORMAL OPERATION - Situation under control - Limited and « short » downtimes		EMERGENCY MANAGEMENT - Unexpected and unknown situations, threat for people, environment, equipment - Operation interrupted, long downtimes			
2	Risk assessment - Probability - Impact/ Consequences	Continuous risk assessment		<p>From HB Z21 / ISO/IWA</p>			
3	Prevention Define preventive measures	Preventive/protective improvements					
4	Residual risk acceptance	Reviews (audits)					
5	Preparedness	Safety procedures/instructions					
6	Emergency response mitigation of effects	Safety training					
7	Continuity	Equipment and system maintenance					
8	Recovery	Equipment and system test					
		Equipment and system monitoring					
		Management of technical alarms		Risk Management			
		...		Risk Control			

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

a. 脅威やハザード

CERN では、ISO31000 との対比で深刻度のクライテリアを設けており、これらは Level0、Level1、Level2 の 3 つの段階に分けられている。

図 52 ISO31000 と CERN における深刻度クライテリアの比較

Situations	NORMAL		INCIDENT	ACCIDENT	ACCIDENT <small>Requiring external assistance</small>	MAJOR ACCIDENT	CRISIS
Safety Alarm levels	AL0	AL1	AL2	AL3		AL3	
Management	Internal				Internal + External		
Levels of seriousness (IS51)	LEVEL 0 Level 0-1: Accidents with negligible injuries or damage which are usually rapidly settled locally. Level 0-2: Minor accidents with injuries or small and limited damage and/or pollution, which can be easily mastered and that only concern the territory of the Organization. Level 0-3: Accidents, fires or environmental hazards with injured person(s) and/or damage which can be mastered by CERN with limited need for coordination by CERN specialists or groups and/or singular outside assistance			LEVEL 1 Serious accidents with major injuries or damage or which require long term or high risk intervention of the CERN Fire Brigade or need for coordination by CERN specialists or groups as well as outside assistance. Accidents, where an impact on CERN's surroundings cannot be excluded	LEVEL 2 Major accidents with an important impact on the site of the Organization and surroundings. Major accidents outside CERN with threats to CERN areas or installations or extended need of coordination and extended support of Host States' emergency services		

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

図 53 CERN における深刻度クライテリア

LEVEL 0	Level 0-1	軽傷や損傷がほとんどなく、通常は現地で急速に解決される事象。
	Level 0-2	怪我や小規模で限定された損傷や汚染を伴う軽微な事象。
	Level 0-3	CERN の専門家または団体による調整の必要性が限られている、または CERN が太陽可能な傷害を受けた人物および/または損傷による事故、火災または環境災害および/または単独の外部援助 (singular outside assistance)
LEVEL 1		重大な傷害または損傷を伴う深刻な事故、あるいは CERN の消防隊の長期的または高リスクの介入または CERN の専門家または団体による調整の必要性ならびに外部の援助が必要な重大な事故。CERN の環境への影響を排除できない事象
LEVEL 2		組織や周辺の場所に重大な影響を与える重大な事象。 CERN の地域や設備への脅威を伴う CERN 外の主要な事象、またはホスト国の緊急サービスの調整と拡大されたサポートの必要性の拡大

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

新たなビーム関連施設を設置するためには、ハザードの分析と環境影響に係るスタディが当該自治体の要請に基づき実施され、アセスを義務化されたリスクやハザードについては、各種ライセンス取得のプロセスの一環として実施する事が求められている。これは、HSE-SEE グループが実施する。

土木工事については、当該工事が実施される国の建築許可のプロセスの一環で、実施すべき事項が規定されている。これは、SMB が実施する。

放射線を除きリスクを検討すべき項目の一覧はリスト化されており、労働環境の保全に係るリスク検討項目一覧、全般的な工事等の実施に係るリスク検討項目一覧、実験等の実施に係るリスク検討項目一覧が作成されている。

表 35 労働環境の保全に係るリスク検討項目一覧

Exhaustive list of hazards identified in the OHS 003 Safety Form – Personnel (EDMS: 1106066)
OHS 003 安全性フォーム - 要員 (EDMS: 1106066) で特定されている危険の網羅的リスト

100 Mechanical hazards

100 機械的危険

101 Operation of machinery used for lifting loads or persons

101 荷物または人の持ち上げに使用される機械の操作

102 Use of machines

102 機械の使用

103 Work involving the use of pressurised equipment

103 加圧装置を使用する作業

104 Work involving exposure to excessive vibration

104 過度の振動にさらされる作業

105 Excavation work

105 発掘作業

106 Other (please specify):

106 その他 (具体的にご記入ください) :

200 Electrical hazards

200 電気的危険性

201 Work in the close vicinity of electrical installations (low and high voltage)

201 電気設備の近くで作業する (低電圧および高電圧)

202 Work on low/high voltage installations (e.g. repair work, measurements)

202 低電圧/高電圧設備での作業 (例えば、修理作業、測定)

203 Work on live equipment (e.g. work on batteries, accumulators)

203 ライブ機器 (バッテリー、アキュムレータなど) の作業

204 Other (please specify):

204 その他 (具体的にご記入ください) :

- 300 Chemical hazards - Work involving direct or indirect exposure to hazardous chemicals with the risk of inhalation, ingestion, or contact with skin or eyes (please specify below)**
300 化学物質の危険性 - 吸入、摂取、または皮膚や目への接触の危険性がある有害化学物質に直接または間接に暴露する作業(下記に明記してください)
- 301 Chromic acid, chromates, alkaline bichromates[1]
 301 クロム酸、クロム酸塩、アルカリ性重クロム酸塩[1]
- 302 Strong acids or bases
 302 強い酸または塩基
- 303 Hydrofluoric acid
 303 フッ化水素酸
- 304 Carcinogenic, mutagenic or reprotoxic agents (CMR - cf. EDMS 1147948)
 304 発癌性、突然変異誘発性または再毒性作用物質(CMR - EDMS 1147948 参照)
- 305 Alcohols (flammable, low toxicity): ethanol, isopropanol, butanol, etc.
 305 アルコール(可燃性、低毒性):エタノール、イソプロパノール、ブタノールなど
- 306 Alcohols (flammable, toxic): methanol, etc.
 306 アルコール(可燃性、有毒):メタノールなど
- 307 Ethylene glycol
 307 エチレングリコール
- 308 Asbestos
 308 アスベスト
- 309 Beryllium and its compounds
 309 ベリリウムとその化合物
- 310 Wood dust
 310 木粉
- 311 Laser dyes
 311 レーザー染料
- 312 Cyanides
 312 シアン化物
- 313 Detergents
 313 洗剤
- 314 Fibreglass, rock wool
 314 ガラス繊維、ロックウール
- 315 Welding fumes and emissions
 315 溶接ヒュームと排出
- 316 Mineral oils, industrial oils, engine oils
 316 鉱物油、工業用油、エンジン油
- 317 Lubricants and cutting oils
 317 潤滑油および切削油
- 318 Mercury and its compounds
 318 水銀およびその化合物
- 319 Heavy metals[2] (dust, shavings, etc.)
 319 重金属[2](ほこり、削り屑など)
- 320 Carbon monoxide
 320 一酸化炭素
- 321 Nanomaterials
 321 ナノマテリアル
- 322 Paints, varnishes, glues
 322 塗料、ワニス、接着剤
- 323 Perfluorocarbons (PFCs)
 323 パーフルオロカーボン(PFCs)
- 324 Lead and its compounds (vapours, alloys, oxides, etc.)
 324 鉛及びその化合物(蒸気、合金、酸化物等)
- 325 Epoxy resins
 325 エポキシ樹脂
- 326 Silica, quartz
 326 シリカ、石英
- 327 Hydrocarbon solvents (toluene, xylene, acetone, white spirit)
 327 炭化水素溶剤(トルエン、キシレン、アセトン、ホワイトスピリット)
- 328 Halogenated solvents (perchloroethylene, dichloromethane/methylene chloride, chloroform, etc.)
 328 ハロゲン系溶剤(パークロロエチレン、ジクロロメタン/塩化メチレン、クロロホルム等)
- 329 Other (please specify):
 329 その他(具体的にご記入ください):.....
- 400 Fire/explosion hazards**
400 発火/爆発の危険性
- 401 Work in an explosive atmosphere (ATEX Zone - cf. GSI-C2)
 401 爆発性雰囲気で作業する(ATEXゾーン - GSI-C2 参照)
- 402 Work involving the simultaneous presence of combustible materials or products, a heat source and an oxidising agent
 402 可燃性物質または製品、熱源および酸化剤の同時存在を伴う作業
- 403 Work involving products subject to spontaneous combustion (e.g. highly oxidising or pyrophoric products, etc.)
 403 自然発火の可能性がある製品(例、高度に酸化性の製品または発火性の製品など)
- 404 Work involving the use of an open flame or 'hot work', welding, etc.
 404 火炎や熱い仕事、溶接などの使用を伴う作業。

- 405 Handling, transport, transfer of flammable liquids
 405 引火性液体の取扱い、輸送、移動
- 406 Other (please specify):
 406 その他(具体的にご記入ください):.....
- 500 Hazards associated with ionising radiation/Risque lié aux rayonnements ionisants**
500 電離放射線に関連する危険/電離放射線に関連する危険
- 501 Work exposing personnel to ionising radiation (external irradiation)
 501 作業員を電離放射線に曝露する作業(外部照射)
- 502 Work involving exposure to ionising radiation [external or internal contamination (inhalation, ingestion, contact involving injury)]
 502 電離放射線への曝露を伴う作業[外部または内部の汚染(吸入、摂取、傷害を伴う接触)]
- 503 Use of radioactive sources
 503 放射性物質の使用
- 504 Use of X-ray generators
 504 X線発生器の使用
- 505 Other (please specify):
 505 その他(具体的に説明してください):.....
- 600 Hazards associated with non-ionising radiation**
600 非電離放射線に伴う危険
- 601 Use of lasers (specify class of laser:)
 601 レーザーの使用(レーザーの種類を指定する:.....。)
- 602 Work involving exposure to sources of ultraviolet or infrared radiation
 602 紫外線または赤外線の放射源に曝露する作業
- 603 Work in the vicinity of strong DC magnetic fields (e.g. superconducting or non-superconducting magnets - cf. IS 36)
 603 強い直流磁界(例えば、超伝導または非超伝導磁石 - IS36 参照)の近くで働く。
- 604 Work in the vicinity of strong electromagnetic fields (1 Hz-1 MHz) (e.g. power converters - cf. IS 36)
 604 強い電磁場(1Hz~1MHz)の近くで働く(例えば、電力変換器 - IS 36 参照)
- 605 Work involving RF components (1 MHz-300 MHz) (e.g. RF cavities)
 605 RF コンポーネント(1MHz~300MHz)を伴う作業(例えば RF 空洞)
- 606 Work involving microwave devices (300 MHz-30 GHz) (e.g. waveguides)
 606 マイクロ波装置(300MHz~30GHz)を伴う作業(例えば導波管)
- 607 Other (please specify):
 607 その他(具体的にご記入ください):.....
- 700 Cryogenic hazards**
- 701 Work in tunnels, caverns or experiment halls or other areas where there is a risk of the release of cryogenic fluids (e.g. Bldg. 165 Cryolab, Bldg. 24 basement, Bldg. 118, etc.) Specify location (building and room number):
 701 トンネル、洞窟または実験室または極低温流体の放出の危険性がある他の地域での作業(例:ビル Cryolab、ビル 24、ビル 24、ビル 118 など)場所(建物および部屋番号):.....
- 702 Handling of cryogenic fluids
 702 極低温流体の取り扱い
- 703 Other (please specify):
 703 その他(具体的に説明する):.....
- 800 Biological hazards**
800 生物学的災害
- 801 Work involving exposure to legionella bacteria (e.g. work in/on cooling towers)
 801 レジオネラ属細菌への曝露を伴う作業(例:冷却塔の中または上の作業)
- 802 Work involving exposure to human blood products (e.g. Fire Brigade, Medical Service)
 802 人間の血液製剤への曝露を伴う作業(例:消防団、医療サービス)
- 803 Other (please specify):
 803 その他(具体的に説明してください):.....
- 900 Road and traffic hazards**
900 道路と交通の危険
- 901 Driving of motor vehicles
 901 自動車の運転
- 902 Use of bicycles (on roads or in tunnels)
 902 自転車の使用(道路またはトンネル内での使用)
- 903 Other (please specify):
 903 その他(具体的にご記入ください):.....
- 1000 Work environment and ergonomics hazards**
1000 作業環境と人間工学の危険
- 1001 Screen work
 1001 スクリーンの仕事
- 1002 Work in confined spaces (tanks, sewers, pits, etc.)
 1002 限られた空間(タンク、下水道、ピット等)での作業
- 1003 Work involving exposure to noise (at least 80 dB(A) over 8 hours) - specify location (building and room number):
 1003 ノイズに曝される作業(8時間以上で少なくとも80dB(A)) - 場所(建物と部屋の番号)を指定する:.....
- 1004 Work involving exposure to artificial optical radiation (cf. Directive 2006/25/EC) - specify location (building and room number):

- 1004 人工光放射に曝される作業(指令 2006/25 / EC 参照) - 場所(建物および部屋の番号)を指定する:.....
- 1005 Work involving the manual carrying of heavy objects - Specify the weight: Specify % of working time:
- 1005 重い物を手で運ぶ作業 - 重量を指定する:.....作業時間の割合を指定する:.....。
- 1006 Work involving exposure to high or low temperatures
- 1006 高温または低温に曝される作業
- 1007 Work involving exposure to adverse weather conditions
- 1007 悪天候に曝された作業
- 1008 Work in and/or access to underground areas
- 1008 地下鉄での作業や地下鉄へのアクセス
- 1009 Work involving exposure to the risk of a fall from a height (scaffolding, elevating platform, etc.)
- 1009 高さからの落下の危険にさらされる作業(足場、昇降台など)
- 1010 Other (please specify):
- 1010 その他(具体的に説明してください):.....
- 1100 Hazards associated with the organisation of work**
- 1100 作業の組織に関連する危険**
- 1101 Shift work performed partly or exclusively at night
- 1101 シフト作業は、部分的にまたは排他的に夜間に行われた
- 1102 Participation in an on-call intervention service (outside normal working hours)
- 1102 オンコール介入サービスへの参加(通常の勤務時間外)
- 1103 Work involving frequent repetitive tasks
- 1103 頻繁に繰り返される作業を伴う作業
- 1104 Working alone
- 1104 単独で働く
- 1105 Work outside CERN (No. of times per year:
- 1105 CERN 外での作業(年間回数:.....)
- 1106 Newcomers
- 1106 新人
- 1107 Other (please specify):
- 1107 その他(具体的に記入ください):.....

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

表 36 全般的な工事等の実施に係るリスク検討項目一覧

List of hazards identified for Conventional aspects in projects creating or transforming an area or building (EDMS: 1092825)
 地域または建物を建設または変革するプロジェクトにおける従来の側面で特定されたハザードのリスト(EDMS:1092825)

Occupation of the premises

建物の職業

CIVIL ENGINEERING

土木工学

Earthworks, drainage (excavation, underground networks etc.)

土工、排水(掘削、地下ネットワークなど)

Bearing structure (concrete, metallic etc.)

ベアリング構造(コンクリート、金属など)

Ancillary works

付属作品

Special works (cutting, demolition etc.)

特別作品(切断、解体など)

Platforms, walkways, guards rails, stairs and ladders

プラットフォーム、歩道、ガードレール、階段、はしご

HANDLING, LIFTING AND MOTORISED DOORS

取り扱い、リフト、モータードア

Lifting and handling equipment

持ち上げおよびハンドリング装置

Personnel lifting equipment

人員持ち上げ装置

Motorised doors

電動ドア

Other

その他

ELECTRICAL INSTALLATIONS

電気設備

Normal power (18 kV, switchboards EMD)

通常電力(18 kV、配電盤 EMD)

Transformers (18/0.4 kV, EMT)

トランス(18 / 0.4kV、EMT)

Normal power (400 V, switchboards EBD)

通常電力(400 V、スイッチボード EBD)

Assured power (switchboards EAD)
保証電力(配電盤 EAD)
Safety power (switchboards ESD)
安全電源(スイッチボード ESD)
UPS (switchboards EOD)
UPS(配電盤 EOD)
48 V (dc switchboards ECD)
48 V(DC スwitchボード ECD)
General Emergency Stop System
総合緊急停止システム
Local Emergency Stop System
ローカル緊急停止システム

HVAC

Heating 加熱
Ventilation 換気
Air conditioning 空調
Special requirements (temperature, humidity etc.)
特別な要件(温度、湿度など)
Safety aspects (presence of gas, smoke extraction, over-/under pressure areas)
安全性の側面(ガスの存在、煙の抽出、過剰/過小圧力領域)
Exhausts 排気
Pressure equipment 圧力機器
Other その他

FLUIDS

Water (raw, drinking etc.)
Clean and waste water
Compressed air
Other その他

OTHER その他

Storage and handling of chemicals
化学物質の保管と取り扱い
Environmental restrictions (polluted sites, protected area, etc.)
環境規制(汚染地、保護地域など)
Waste (conventional, hazardous, etc.)
廃棄物(従来型、危険物など)
Internal environment conditions
内部環境条件
Reliability of equipment (redundancy, back-up system, etc.)
機器の信頼性(冗長性、バックアップシステムなど)
except for their diluted aqueous solutions
それらの希釈水溶液
cobalt, tungsten, vanadium, chromium, manganese, nickel, titanium, germanium, gallium, bismuth, iridium, lithium,
magnesium, molybdenum, strontium, rubidium, palladium
コバルト、タンゲステン、バナジウム、クロム、マンガン、ニッケル、チタン、ゲルマニウム、ガリウム、ビスマス、イリジウム、リチウ
ム、マグネシウム、モリブデン、ストロンチウム、ルビジウム、

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and
environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

表 37 実験等の実施に係るリスク検討項目一覧

Exhaustive list of hazards identified in the LSA Conventional aspects for Projects with Experiments or Equipment (EDMS:
1095136)
LSA で特定された危険の徹底的なリスト実験または装置を用いたプロジェクトの従来の側面(EDMS:1095136)
Pressure 圧力
Vacuum 真空
Lifting equipment 昇降装置
Machinery / Machine Tools 機械/工作機械
Mechanical energy (moving parts) 機械的エネルギー(可動部)
Mechanical properties (sharp, rough, slippery) 機械的性質(鋭い、荒い、滑りやすい)
Industrial Vehicles 産業車両
Hot Works 熱い作品
Hot/cold surfaces ホット/コールドサーフェス
Vibration 振動
Cryogenic Safety 低温安全
Cryogenic fluid 低温流体
Structural Safety 構造安全
Shielding Walls シールド壁
Bearing structure ベアリング構造
Specific actions/conditions 特定のアクション/条件
Electrical and Electro-magnetic safety 電気および電磁安全

Electrical equipment and installations 電気機器および設備
 High Voltage Equipment 高電圧機器
 Magnetic field 磁場
 Equipment in potentially explosive atmospheres 潜在的に爆発性の雰囲気装置
Chemical Safety 化学物質の安全性
 Hazardous chemical agent (HCA) 有害化学物質 (HCA)
 CMR (carcinogens, mutagens and substances toxic to reproduction)
 CMR (発がん物質、変異原および生殖毒性物質)
 Toxic/Harmful 有毒/有害
 Corrosive 腐食性
 Oxidizing 酸化
 Flammable 引火性
 Potentially explosive atmospheres 潜在的に爆発的な雰囲気
 Irritant 刺激
 Asphyxiant 窒息する
 Nanomaterials ナノ物質
 Dangerous for the Environment 環境に危険な
 Asbestos アスベスト
Biological Safety 生物学的安全性
 Legionella レジオネラ
 Biological Agents 生物学的エージェント
Non-ionizing radiation Safety 非電離放射線安全
 Laser レーザー
 Radiofrequency 高周波数
 Microwaves マイクロ波
 UV light UV 光
Workplace 職場
 Noise ノイズ
 Temperature constraints (non-comfortable) 温度制約 (快適ではない)
 Lighting 点灯
 Indoor Air quality requirements 屋内の空気品質要件
 Confined space 閉じ込められたスペース
 Work at height 高さで働く
 Obstructions in passageways 通路の障害
 Lone working 単独作業
 Falling objects 落下物
 Slippery/unstable ground 滑りやすい/不安定な地面
Environment 環境
 Usage/storage of potentially polluting substances (gases, liquids, solids)
 潜在的に汚染物質 (気体、液体、固体) の使用/保管
 Emissions of substances into the atmosphere 大気中への物質の放出
 Discharge of effluents to the site drainage (i.e. infiltration water, rain water, cooling water...)
 排水を排水口 (すなわち、浸水、雨水、冷却水など) に排出する。
 Discharge of effluents to sewage (i.e. sanitary water...)
 下水道への排水の排出 (衛生的な水...)
 Activated or radioactive soil
 活性化土壌または放射性土壌
 Polluted or contaminated soil
 汚染された土壌
 Emission of noise harmful for the environment
 環境に有害な騒音の発生
 Vibrations harmful for the environment
 環境に有害な振動
 Odors 悪臭
 Waste generation 廃棄物の発生
 Significant consumption of resources (e.g. water, electricity gas, fuels, ...)
 水、電気ガス、燃料などの資源の大幅な消費
Worksite ワークサイト
 Construction & dismantling activities 建設・解体活動
 Co-activity 共活性
Fire Safety 火災安全
 Non-standard layout 非標準レイアウト
 Combustible Materials 可燃性物質

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

また、先の Safety Rule 全般の中で対象とされているリスクを考慮すべき事項を整理すると次となる。

表 38 Safety Rule 全般の中で対象とされているリスクを考慮すべき事項の整理

Exhaustive list of hazards identified by the Safety Rules	安全規則で特定されている危険の完全なリスト
Basic nuclear materials	基本的な核物質
Ergonomics	人間工学
Medical service	医療サービス
Alarms	アラーム
Environment	環境
Asbestos	アスベスト
Visits	訪問
Two-person rule of working	2人の作業規則
Safety rules procedure	安全ルール手順
Fire protection	防火
Lifting	リフティング
Accidents/Incidents	事故/事故
Workplace	職場
Workshops	ワークショップ
Non-ionizing radiation	非電離放射線
Safety Organisation	安全機関
Excavation work	掘削作業
Worksite	ワークサイト
Transport of radioactive material	放射性物質の輸送
Cryogenics	クライオジェニクス
Safety Inspections	安全検査
Road traffic	道路交通
Smoking	喫煙
Coordination	調整
Air pollution	大気汚染
Mechanic	メカニク
PPE	
Pressure equipment	圧力機器
Biology	生物学
Risks assessment	リスクアセスメント
Mechanical structure	機械的構造
Emergency	緊急
Laser	レーザー
Water pollution	水質汚染
Electricity	電気
Chemicals	化学薬品
Confined spaces	狭いスペース
Legionella	レジオネラ
Welding	溶接
Safety colours and signs	安全な色とサイン
Noise	ノイズ
Radiation protection	放射線防護

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

b. リスクアセスメント

リスクアセスメントは、特定、分析、評価の全体的なプロセスである。特定された脅威/ハザードは、人、環境、研究施設の運営または組織の財産に対して一定の確率および測定可能な結果を有する場合、リスクとなる。

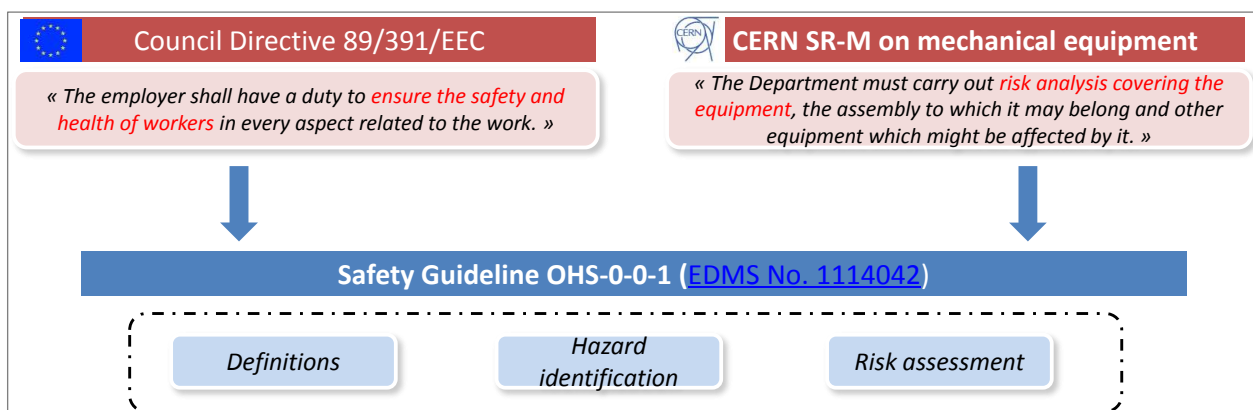
CERNにおけるリスクアセスメントは、以下の事象毎に実施しなければならない。

- ・新しい機器の導入が想定されるたびに。
- ・新しい機器を使用するたびに、
- ・機器がある場所から別の場所に移動するたびに、
- ・機器や変更/アップグレードの使用が変更されるたびに

リスクアセスメントの根拠は、欧州委員会指令 (Council Directive 89/391/EEC) 及び先に示した CERN の Safety Regulation (CERN SR-M on mechanical equipment) に基づき策定されたガイドライン (Safety Guideline

OHS-0-0-1 (EDMS No. 1114042)となる。

図 54 CERN におけるリスクアセスメントの根拠

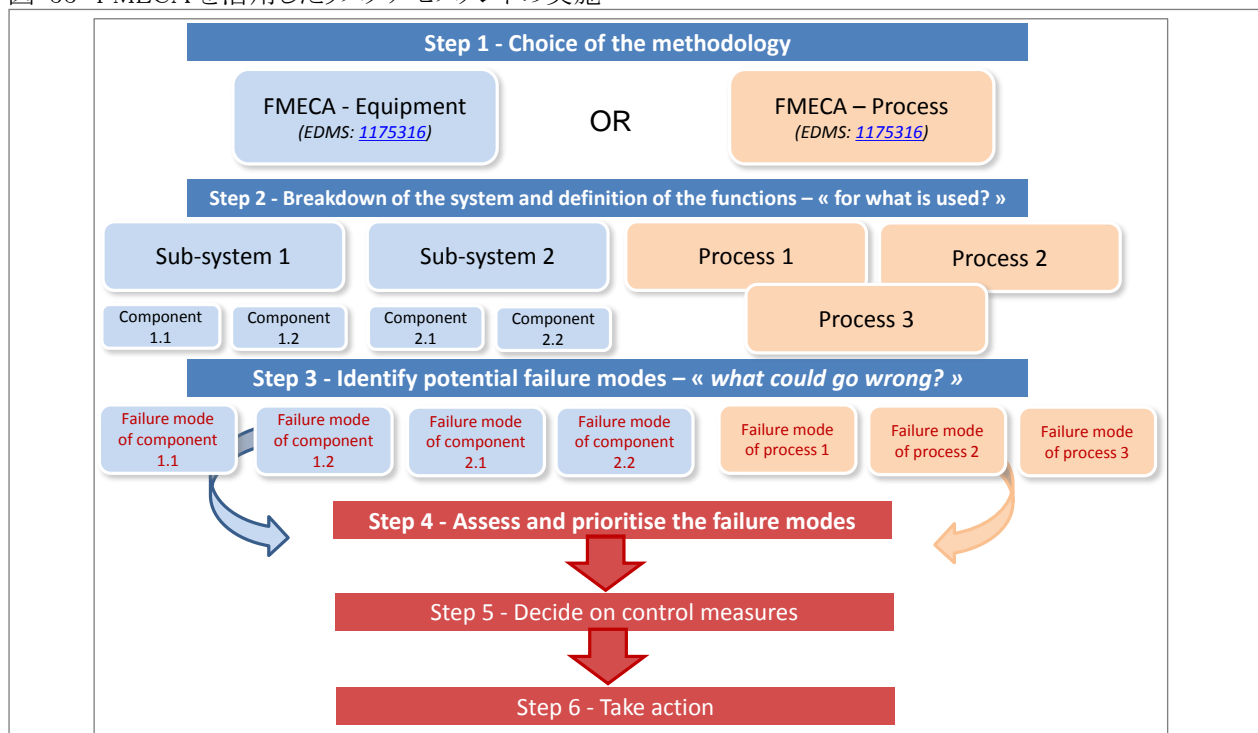


出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

実際のリスクアセスメントでは、故障モード・影響及び致命度解析(FMECA)ツールが活用されている。

FMECA の活用は、CERN では、機器(Equipment)とプロセス(Process)に対象を分け、それを機能毎等に分割し、それぞれ毎の潜在的な失敗の状況(potential failure modes)を明らかとして、アセスを実施、管理手法の検討を行い、アクションを採るという一連の方法が採られている。

図 55 FMECA を活用したリスクアセスメントの実施



出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

c. リスク回避方策

リスク回避の方策は、労働者等のヒトを対象とした措置、機器の保護を対象とした措置、敏感な機器やシステムに対する措置 (SENSITIVE EQUIPMENT AND SYSTEMS)、それらをモニタリング/監視する仕組みとして検討される。

労働者等のヒトを対象とした措置として次のようなシステム等の導入が図られている。

表 39 労働者等のヒトを対象としてリスク回避のための用意されている措置

<ul style="list-style-type: none"> - Access Safety Systems - 安全システムへのアクセス - Access Control Systems - アクセス制御システム - Fire Detection Systems - 火災検知システム - Flammable Gas Detection Systems - 可燃性ガス検知システム - ODH Detection System - ODH 検出システム - Emergency Evacuation System - 緊急避難システム - Flooding Detection Systems - フラッディング検出システム - General Emergency Stops Systems - 一般緊急事態システム - Level 3 Alarms Transmission Systems - レベル 3 アラーム伝送システム - Personnel Protection Devices - 人員保護装置 - Radiation Protection Monitoring - 放射線防護の監視 - Environmental Monitoring System - 環境モニタリングシステム

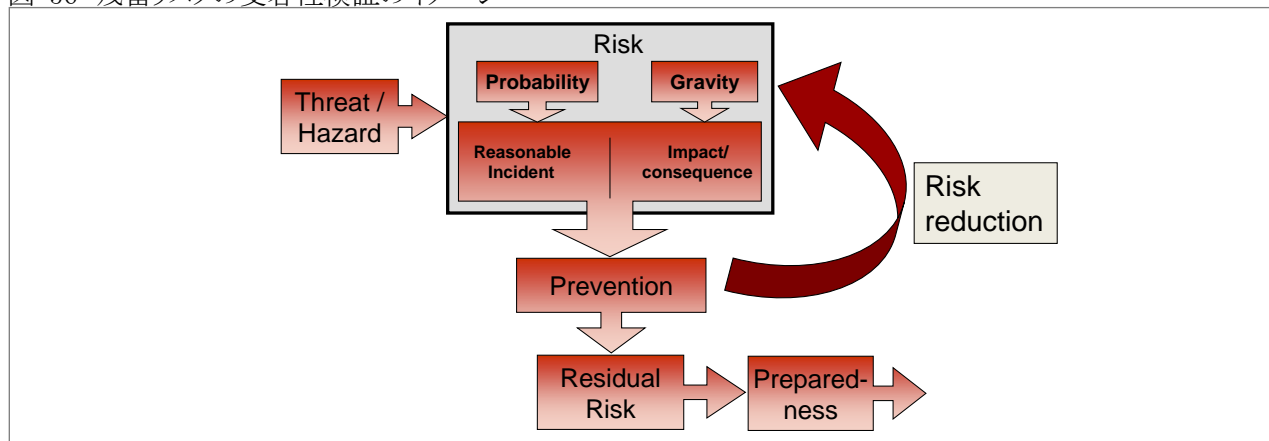
出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

なお、リスク回避方策は、RAMS APPROACH という考え方で検討することが求められており、RELIABILITY (信頼性が確保されるか)、AVAILABILITY (利用可能性が確保されるか)、MAINTAINABILITY (保全性が確保されるか)、SAFETY (安全性が確保されるか)、以上 4 つの観点での検討が必要とされている。

d. 残留リスクの受容性

残留リスクの受容性とは、回避措置がされた後でリスクが減少しているかどうか(残留リスク)を検証する行程であり、その検証は法律等によって制限されている枠内に収まっているか、や、マネジメントとして受容できるものか、という基準で行われる。

図 56 残留リスクの受容性検証のイメージ



出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

e. リスクへの備え

リスクへの備えは、偶発的な出来事 (incident) 及び事故 (accident) が発生した場合の対処手順や指示方法、各レベルに対する教育及び訓練方法、訓練及び机上訓練の実施、リスクに介入 (intervention) するための適切な機器の導入、レベル 2 を警戒するためのモニタリング及びフォローアップ体制、ニアミス分析などを実施する事とされている。

また、緊急時の参照すべき文書の作成も求められており、ルールや規則に沿った強制力のあるものであるべきであり、責任の所在が明確化され、シンプルな言葉遣いがなされていること、等の規定が設けられている。

図 57 参照すべき文書の構成

Situations	NORMAL	INCIDENT	ACCIDENT	ACCIDENT <small>Requiring external assistance</small>	MAJOR ACCIDENT	CRISIS
Documents Plans (required)	Safety Files/Folder/Procedures		Internal Emergency Plan	External Emergency Plan		
			Recovery Plan(s)			
	Risk Management		Risk Control			

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

f. 緊急時の対応と緩和措置

緊急時の対応と緩和措置の実施については、緊急度のレベルに応じた体制が構築されている。

図 58 緊急時の対応と緩和措置の体制

Situations	NORMAL		INCIDENT		ACCIDENT	ACCIDENT Requiring external assistance	MAJOR ACCIDENT	CRISIS	
Management	Internal					Internal + External			
Safety Alarm levels	AL0	AL1	AL2	AL3		AL3			
Warning Safety alarm transmission	Monitoring systems warning responsables and/through the CCC		CSAM and/or phone call to SCR (74444) warning the CERN Fire Brigade			CSAM and/or phone call to SCR (74444) warning the CERN Fire Brigade Host States' services alerted/informed following the level of seriousness			
Intervention	Technical services On duty services		CERN Fire Brigade in collaboration with the technical services and/or on duty services			CERN Fire Brigade Swiss Fire Brigade (SIS GE) French Fire Brigade (SDIS 01)			
Levels of seriousness (IS51)				LEVEL 0		LEVEL 1		LEVEL 2	
Crisis Management Team – CMT				CERN CMT		CERN CMT supported by SIS GE and/or SDIS 01	SIS GE or SDIS 01 supported by CERN CMT	SIS GE and SDIS 01 supported by CERN CMT	
Etat Major des Opération (EMO)							EMO GE or/and EMO 01 eventually EMO leader designated		PCI SIS GE and PCI SDIS 01 supported by PCI CERN
Cellule de Crise Stratégique (CCS)							DG CERN Préfet or/and Conseiller GE		DG CERN Préfet/Conseiller GE Désignation de l'EMO leader

※AL1 は、機器の不良もしくは設置の不良を意味する。権限のある技術部門による介入が必要とされるレベル。

AL2 は、機器の機能の誤りもしくは異常事態を意味する。迅速な権限のある技術部門による介入が必要とされるレベル。

AL3 は、アクシデントもしくは異常事態を意味する。人々の生命が危険な状態となる、もしくはなるかも知れない状態を意味する。迅速な火災及びレスキューサービスの介入が必要とされるレベル。

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

g. 継続した対応

リスク発生後の継続的な対応については、クリティカルな活動(ヒトの救援やリスクの継続的な回避が必要な活動)を支援するための機器や消耗品等の明確化、サプライチェーンの確保などを検討し、また、安全システムの作動、メンテナンス、研究設備を守るための戦略の立案も求められている。

h. 回復措置

回復措置として、その計画立案が必要とされ、次の事項の明確化及び検討が求められている。

表 40 回復措置計画で明確化及び検討すべき事項

- 特定された主なリスクに応じた、作業の復旧のためのタイムテーブルに関する推定。
- 適切な遅れで復元できない設備および操作の識別。
- 緊急に必要とされない操作の全部または一部の停止。
- 重要なスペアパーツの在庫を最小限に抑えるための決定。
- 外部から必要とされる追加の技術的および人的資源。
- 復旧に貢献するパートナーとの協力協定。
- 財政的配慮の手続(保険、引当金、利害関係者)。
- 教訓に基づいた先制的計画。

出典 Nomura Research Institute (NRI) visit AT CERN ON 30th NOVEMBER 2017, Regulation, Safety, and environment/E. Cennini/HSE-SEE With courtesy content from HSE-SEE group members

[放射線エリアでの活動]

CERN の放射線エリアで活動するに際しては、CERN 線量計、CERN が関連する期限付き契約を保持し、必要なトレーニングを受講し、さらに、EU/EEA 域内機関の認証もしくは放射線パスポート(Radiation passport)、それ以外の国の機関が発行する同種の認証等の保持が必要とされている。

放射線に関する体制は三国間での合意に基づく事項として構築されている。重要な点は、合意により CERN が自ら放射線に関する取り組みを管理することが可能となった点である。合意事項の対象は次の通り。

表 41 放射線に関する三国間での合意事項の対象

放射能源	放射性物質の輸入、輸出および取り扱いのための共通および一般的な許可
放射性廃棄物	公正な取り決めに基づく CH および F に対する排出原則と CERN 廃棄物調査
環境モニタリング	方法に関する合意
重大な出来事の宣言	重要な出来事の定義と分類とその宣言の様式に関する合意
サイト間輸送 - クラス 7	ADR に基づく CERN サイト間の放射性物質の輸送条件に関する合意
線量測定	CERN の線量測定サービスの共通認定(CH-F)

出典 NRI visit at CERN 30 November 2017/A. Goehring-Crinon, HSE -DI

放射線防護及び安全に係る三国間の運営体制は、次の 3 つの仕組みが構築されている。

表 42 放射線防護及び安全に係る三国間の運営体制

作業部会は、ケースバイケースで開催	特定の科目に関する本会議を準備する 参加者:テクニカルエキスパート
プレナリーミーティング 2-3 /年	戦略的決定 参加者:3 者からの「ハイレベル」代表
共同検査訪問	原則が実行されていることの確認 参加者:技術者

出典 NRI visit at CERN 30 November2017/A. Goehring-Crinon, HSE -DI

②CERN の調達に関わるリスク管理

[機器調達/契約に関わる経験的ラーニングカーブ (Experimental learning curves) の活用]

CERN では、膨大な調達に対して、効率的にコストを算出し、円滑な契約に結びつけるため、コスト試算に関わる経験の蓄積を進めている。

表 43 LHC に関わる契約の量(参考)

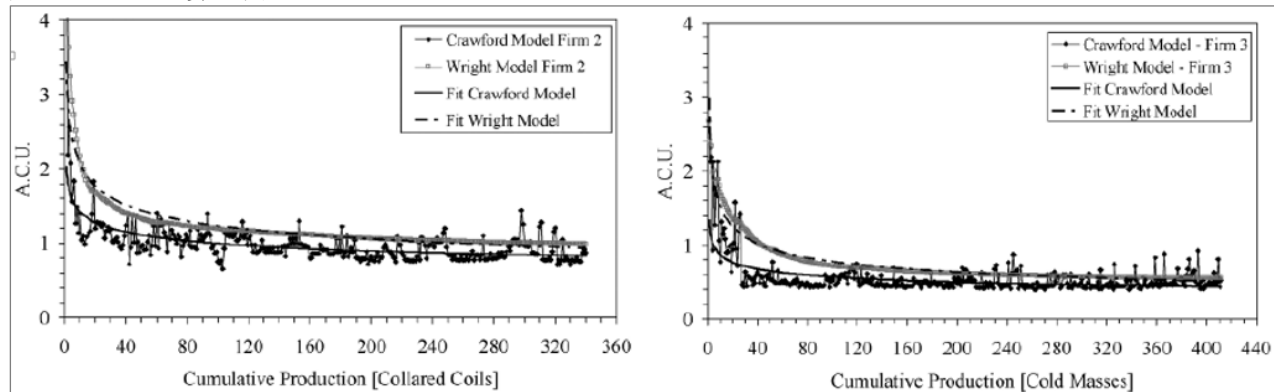
- ・ 1,170 件の価格に関する問い合わせと入札 (50 kCHF 以上)。
- ・ 115,700 件の購入注文(それぞれ 750kCHF 以下)
- ・ ささまざまな種類および金額の 1,040 契約。
- ・ 6,364 の異なるサプライヤーおよび請負業者(下請け業者は含まない)。

出典 Risks and risk management during LHC construction from a view point of procurement management/Visit from Nomura Research Institute, Nov. 29-30, 2017/Anders Unnervik

その一つの取り組みとして、装置等の生産に係わり規模の経済の働き具合を推計する計算式の検討等に係る研究を進めている。

以下はその例となる。これは、カラーに組み合わされたコイル (Coliared Coils) とコールドマス (クライオモジュールに組み込む前の内容物が組み立てられた状態のもの) の生産累積量(X 軸)毎の平均生産コスト(Y 軸) の関係をいくつかのモデルを用いて推計したものである。

図 59 コスト試算の例



出典 Risks and risk management during LHC construction from a view point of procurement management/Visit from Nomura Research Institute, Nov. 29-30, 2017/Anders Unnervik

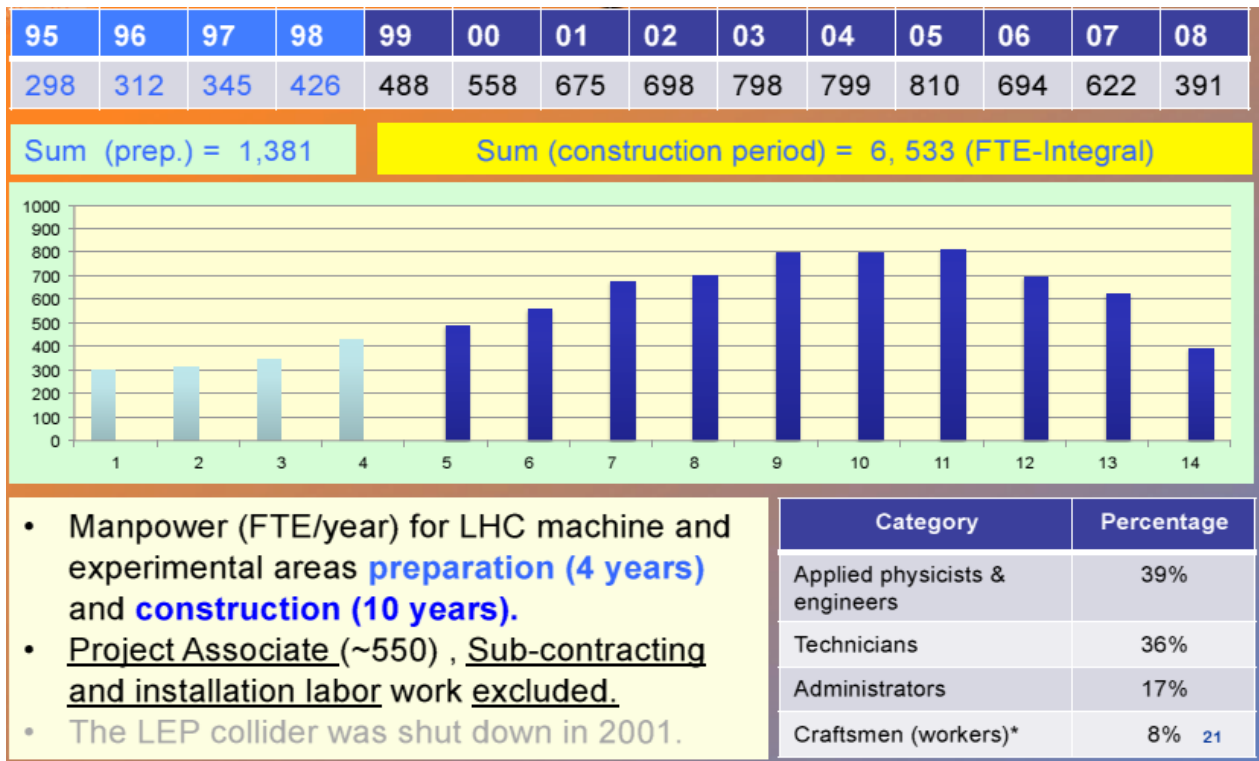
[LHC 建設ピーク時にも対応したアソシエイト制度]

LHC の建設に当たって、2009 年から 2011 年のピーク時には、建設開始時の倍以上のスタッフが必要となり、一方でそれらの 4 割程度が物理学やそれに関連したエンジニアという専門家の調達が必要とされた。

これに対応するため、CERN では建設開始時の 1994 年にプロジェクト・アソシエイト制度が導入され、これら専門家の調達に成功している。

建設時に必要とされた人材の量と現在のアソシエイトの種類と概要を次に示す。

図 60 LHC 建設時期の必要人材量の推移(検知機(Detectors)エリアを除く)



出典 CERN・大型ハドロンコライダー(LHC) 加速器建設と人材について/山本明(KEK)、Lyn Evans (CERN-LHC Project Leader)(文科省・ILC-TDR 人材作業部会での報告(2016-4))

表 44 CERN で採用している主に人材確保に係るアソシエイトの種類と概要(トレーニング目的等は除く)

関連する人員 (members of the personnel :MPA)	関連する職員 (MPA) は、組織によって雇用されていないが、組合契約に基づいて Director-General によって任命される。
国際協力 (MPAc) の目的のためのプロジェクト・アソシエイト (PA:Project Associate)	CERN と自国の研究機関との間の合意に基づいて、共同作業の参加者として任命される。自国機関は、雇用主、それらが登録されている教育施設、組織によって明示的に認められた資金調達機関、または上記のいずれかに相当する機関であり、CERN によって明示的に認められているものとする。
ユーザー	設計、設計、建設、保守、運用、アップグレードまたは分析のために訪問研究チームのメンバーとして組織に送付された科学者、エンジニア、技術者、およびその管理援助要員でなければならない。MOU に基づくプロジェクト、または自国の機関との同等の合意に基づく。
協力協会 (Cooperation Associates :COAS)	CERN と自国の機関との間の協定に基づき、自国の機関を代表して協力の実施に貢献することを機構が認めた科学者、エンジニア、技術者およびその行政支援者。
プロジェクトアソシエイツ (PJAS)	CERN と自国の機関との間の協定に基づき、Director-General が選定したプロジェクトの実施に自国の機関を代表して専門知識を提供することを組織が認めた科学者、技術者または技術者でなければならない。 自国の施設に雇用されるものとする。プロジェクト・アソシエイトとしての最大契約期間は 3 年間とする。

出典 CERN ホームページ <http://newcomersguide.web.CERN.ch/categories-members-personnel>

[リスク管理を踏まえた調達戦略]

LHC のみならず CERN における調達戦略の立案は、如何にそのリスクを管理するか、という視点で進められている。

CERN での調達は、技術的な特徴を持ったものが多く、以下の点に留意するものとされている。

- ・ 製造か購買？ 潜在的なサプライヤーと契約上のリスクを考慮
- ・ 技術仕様:ファンクション&インターフェイスと Build-to-Print (設計書による発注)
- ・ 二重ソーシングとシングルソーシング 補給とバランスの取れた安全保障対追加のフォローアップ
- ・ サプライチェーンを管理する一般請負業者として行動するか

リスク管理と同時に最適なコストでの調達も、プロジェクト全体のリスクを管理するという意味で重要であるとの観点から、競争の確保について以下の取り組みを進めている。

- ・ ビジネス上の制約の中で成功を収めるためには、プロジェクトの初期段階から業界との協力が不可欠。
- ・ HL-LHC 産業デー、ビッグサイエンスビジネスフォーラムなどのワークショップを組織することにより、業界からの関心を引き付ける。
- ・ 潜在的なサプライヤーを追求するために、企業が不足している地域/ドメインを特定する (ILO に自国を求めて動かす)。
- ・ 情報を公開する。
- ・ 適切な企業を選択する。
- ・ プロトタイプ、プリシリーズ、シリーズを技術的に危険な供給源の 1 つで構築することにより、ノウハウを構築し、利益を維持する。

- ・他の製品/市場との競争;
- ・試作品を社内で生産することを検討し、産業が失敗した場合に備えて生産ラインを予備として保つ。

また、競争を確保する入札制度の活用についても、その仕様の作成について数々の留意点を考慮している。

- ・技術仕様:ファンクション&インターフェイスと Build-to-Print
- ・明確で現実的
- ・潜在的なリスクに対処する責任を特定する
- ・品質管理、テストおよび受入れ手順 (MTF)
- ・「独立」仕様委員会による検討
- ・入札の招待状は、要件がよく理解され、明確に特定されるまで発行されてはならない。

なお、仕様作成には、当該入札に係る最適コストを狙うのではなく、それらのコストには、設計、製造、導入、運転(エネルギー消費量を含む)、メンテナンス、交換部品、消耗品、そしてそれを使いこなすための人材育成コストをも考慮することが求められている。また、最適コストの算定及び将来の契約更改等について、先に示したラーニングカーブの活用可能性の検討も仕様作成時の留意事項とされている。

契約に当たっては、品質管理のための仕組みの重要性が認識され、契約のパフォーマンスを常にモニタリングする仕組みと体制の構築が不可欠とされている。特にプロジェクト全体の品質を管理するための包括的な品質管理プログラムの策定が重要とされており、プログラムには、マネジメント体制の整備、技術的データの管理方法、製造及びテストの管理手法、視察の方法とタイミングなどを定めるべきとしている。

さらに、CERN では契約先起因の様々なトラブルを経験しており、CERN 内の研究施設で、技術的な再現や検証を行う重要性を認識しており、外部委せにしない CERN 内部の柔軟な組織についても言及している。

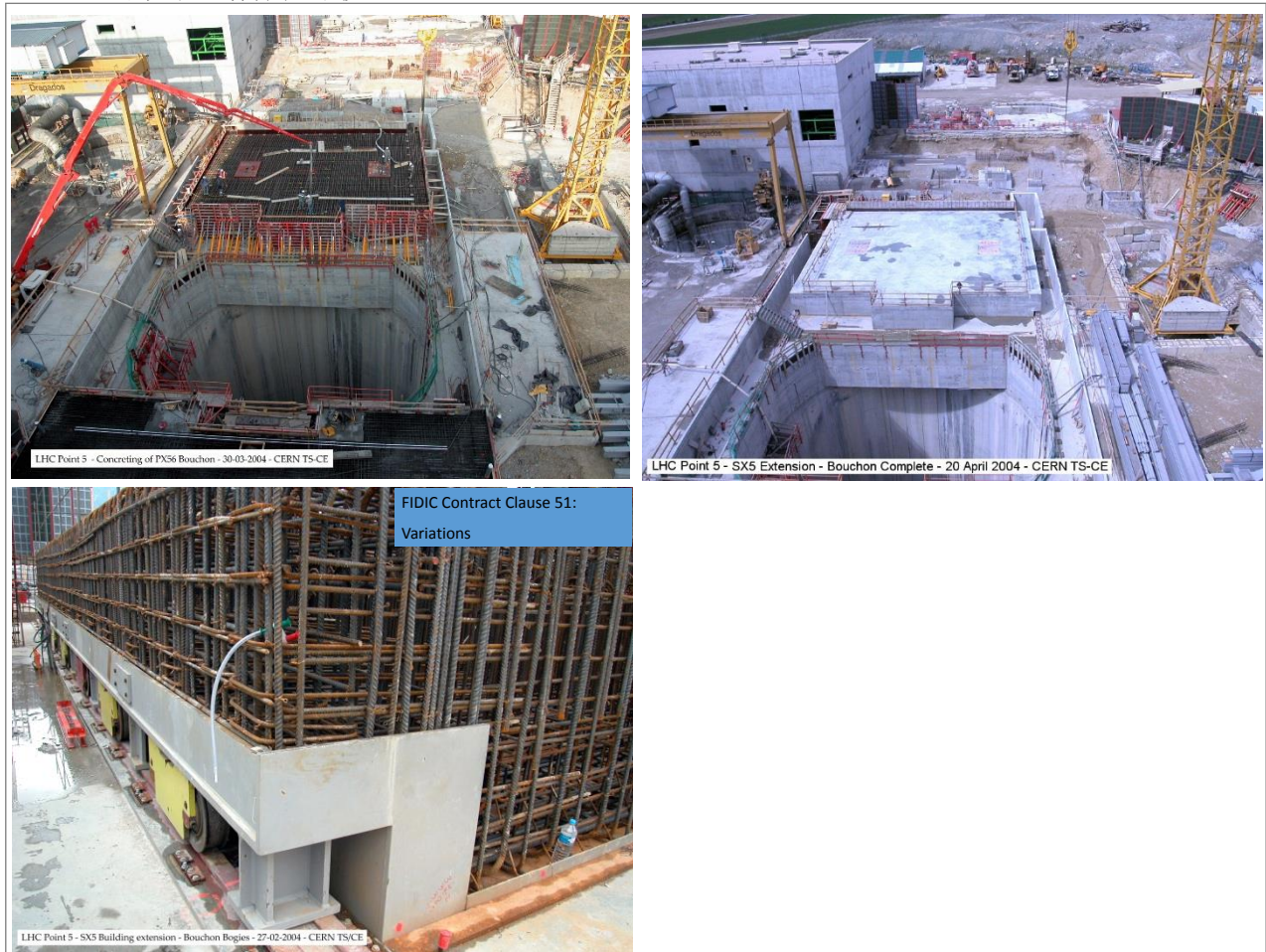
CERN で重視されている契約に係るいくつかの条件付けは次の通り。

- ・パフォーマンス(銀行)保証を付ける。
- ・2年間の保証を付ける。
- ・重大な過失または故意の違法行為を除いて、間接的または間接的な損失または損害の責任は一切負わない。
- ・スケジュール遅延に対するペナルティおよび、いくつかの契約違反事項の規定。
- ・CERN の承認を受ける下請け業者の変更に係る事項。
- ・下請け業者に問題がある場合のステップインの権利。
- ・IPR 規定。
- ・仲裁規定。

その他、CERN サイト上の LHC 低温マグネットの組み立てや CERN サイトでの LHC 相互接続の組み立てについても条件が付されている。

なお、リスク管理を踏まえた調達戦略の一つとして柔軟な契約により工事が追加された例を次に示す。

図 61 柔軟な契約の一例:縦坑内への雨等の進入を防ぎ作業を遅滞させないため“移動式の蓋”が縦坑工事契約に作業開始後に追加



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

[環境に配慮した工事]

田園地帯に設置されている LHC では、地域住民に配慮した工事の実施は、地域との摩擦や事故等のリスク回避に重要な事項と認識されている。

以下の例は、工事で生じる大量の岩を修景用資材に転用する方法と、工事現場へのアクセス路を、住民が普段使用する生活道とは分けて設置している例である。

また、建築物についてはランドスケープにも配慮し、建物周辺に植林を実施するなどのきめ細かな配慮がなされている。

図 62 地域住民に対するリスク回避のための方法の例



出典 ILC NRI CERN Visit 30 November 2017 Civil engineering aspects and challenges/John Osborne

2.EUROPEAN XFEL (European XFEL GmbH、DESY 研究所) 事例分析

1) EUROPEAN XFEL の概要

①DESY 研究所の概要

ドイツ電子シンクロトロン (Deutsches Elektronen- Synchrotron, DESY) は 1959 年に設立された公共の研究機関で、ハンブルク市とブランデンブルク州ツォイテンとの 2 ヶ所に位置し、国立研究機関の連合であるヘルムホルツ協会に所属している。

DESY の研究の内容は一般には基礎的な自然科学の探求だが、特に「粒子加速器の開発、建設、運用」「物質とそこに働く相互作用の理解」「放射光を用いた表面物理、物性物理、化学、分子生物学、地学、医学などの研究」が中心的な研究内容である。DESY ハンブルグには主要な加速器として、電子・陽電子のための LINAC II、PIA、DESY III、DORIS、TTF-FEL、PETRA、HERA があり、陽子のための LINAC III、DESY III、PETRA、HERA がある。

ハンブルクのサイトは市の西部に位置し、敷地の外周に PETRA 加速器が設置され、もう一つの周長 6.3km の加速器 HERA は大部分が公園や商業地域を通る地下トンネルに設置されている。

予算は DESY ハンブルグが 1 億 4,500 万ユーロ(2005 年 7 月現在約 190 億円)、DESY ツォイテンは 1,500 万ユーロであり、財源負担はドイツ政府が 9 割、所属の地方自治体が 1 割となっている。

DESY 研究所の加速器は研究目的で 33 カ国 2,750 人の研究者に利用され、そのうち素粒子物理(HERA 加速器)の利用者は約 950 人、HASYLAB 放射光施設利用は約 1,800 人である。

図 63 DESY の上空写真



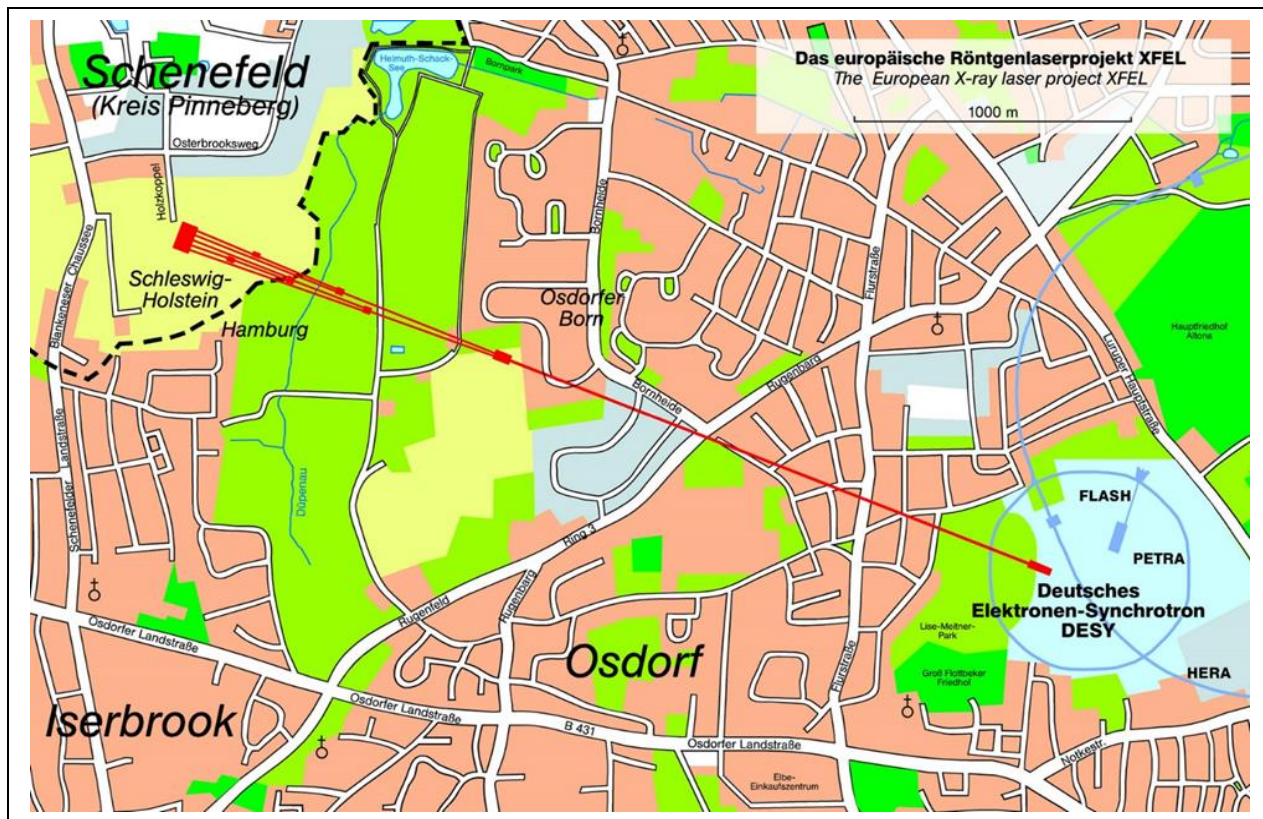
出典 DESY ホームページ <http://h1.desy.de/>

図 64 EUROPEAN XFEL の位置 (DESY 加速器との位置関係)



出典 lightsource.org ホームページ <http://www.lightsources.org/imagebank/image/has043-0>

図 65 EUROPEAN XFEL の位置 (DESY 研究所からの位置関係)



出典 DESY ホームページ <http://xfel.desy.de/>

②European XFEL GmbH

ドイツの法律に基づく非営利の有限責任会社である EUROPEAN XFEL GmbH は、独立した研究機関として設立され、EUROPEAN XFEL を設置、運営している。2017 年 9 月にユーザーによる運転が開始された。同社は 300 人以上を雇用している。現在、デンマーク、フランス、ドイツ、ハンガリー、イタリア、ポーランド、ロシア、スロバキア、スペイン、スウェーデン、スイスの 11 カ国がプロジェクトに参加している。英国は 12 番目の加盟国として EUROPEAN XFEL に加わる過程にある。

[EUROPEAN XFEL の建設]

EUROPEAN XFEL は多くのパートナーの共同で実現している。EUROPEAN XFEL GmbH は、DESY 及び世界中の機関と緊密に協力している。建設は 2009 年初めに始まった。

試運転を含む施設の建設費は 12 億 2000 万ユーロ(2005 年の水準)に達する。当初、ホスト国として、ドイツ(連邦政府、ハンブルク市、シュレーズヴィヒホルシュタイン州)は、この費用の 58%をカバーし、ロシアは 27%、その他の国際パートナーはそれぞれ 1%~3%を賄うこととされた。

EUROPEAN XFEL の大部分の施設は、株主およびパートナーによる現物寄付によって設置された。

機関が設立され、予算が確保されなければ入札や発注のプロセスに進むことができず、結局はプロジェクトとの開始や進捗に影響を当てることとなり、プロジェクトの遅れは、建設作業員への支払増や、必要な資材の調達コストを上昇させることにつながる。

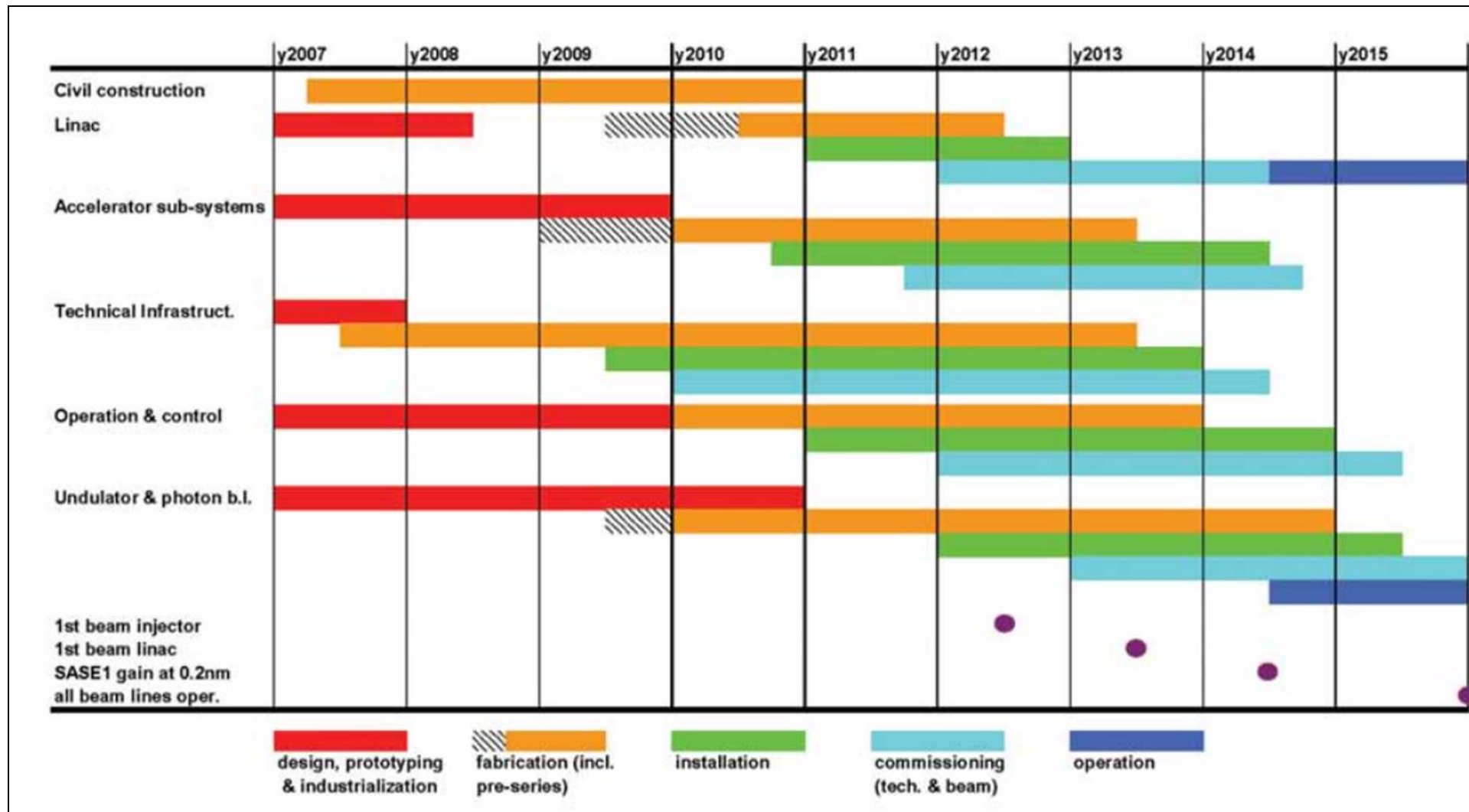
このため、ドイツはホスト国として計画をスケジュール通り進捗させるため、2009 年の会社設立までの費用はドイツが担い、2007 年から土木等の作業を 2009 年から開始するための発注が進められることとなった。これは、2009 年に本当に機関が立ち上がるかどうかという不確実な中でのドイツ政府の英断であり、このようなホスト国の英断は、プロジェクトの推進、ひいては他の国に本気度を見せる意味で、極めて重要となってくる。

図 66 EUROPEAN XFEL の加速器での作業の様子



出典 DESY ホームページ https://www.xfel.eu/facility/accelerator/index_eng.html

図 67 EUROPEAN XFEL のスケジュール



出典 The European X-Ray Free-Electron Laser Technical design report/DESY XFEL Project Group/July 2007

[EUROPEAN XFEL の内容]

X 線自由電子レーザーとして、EUROPEAN XFEL は、X 線波長範囲のレーザー光パルスを発生させるために原子電子に結合されていない、励起された自由エネルギーを必要とする。科学者は加速することによって電子を活性化することができる。光の速度に近づいても決して到達することはない速度で一方向に移動する。

科学者は共振器とも呼ばれる金属構造を使って粒子を加速する。強い電磁場がキャビティを横切って形成されると、電子などの電荷を運ぶ粒子が構造体を通して移動する。

EUROPEAN XFEL 加速器は現在、1.7km の長さにわたって 768 個の空洞を使用している。この設備は、キャビティの材料として元素状の金属ニオブを使用する。ニオブウムは極低温で超伝導であるため、空洞が 271°C まで冷却されると、電気抵抗がすべて失われる。これは、空洞に入る電磁波が全て電子ビームに与えられ、加速プロセスを非常に効率的にすることを意味する。EUROPEAN XFEL 加速器は、現在、17.5 ギガ電子ボルト(GeV)まで電子を加速することができる。

アンジュレータは、交互に配置された永久磁石の配列である。加速された電子がアンジュレータに入ると、ジグザグの「スラローム」コースを開始する。あらゆるターンで、電子は X 線光を放出する。光に対する X 線の挙動、およびアンジュレータ内の磁石のパターンのために、出現する光は、すべての波が互いに同相であるレーザ状である。

EUROPEAN XFEL は、3 つの異なるアンジュレータ、すなわち異なる特性を有する X 線フラッシュを提供する異なる光源を備え、施設の実験場の機器の光を生成する。

アンジュレータは、5m の長さのセグメントを含み、これらのセグメントは、互いの間に 1.1m の距離を置いて、互いに 1 列に並んでいる。これらのセグメント間のギャップには、電子ビームの診断と制御に使用されるデバイスが含まれている。

アンジュレータの磁場の強さは可変である。より高い磁場は、より広いスラロームコースをもたらし、したがってより長い波長の X 線放射になる。

[EUROPEAN XFEL の組織面での特徴]

European XFEL GmbH は、科学と研究の分野における非営利目的を排他的かつ直接的に担っている。

EUROPEAN XFEL GmbH の役割は、以下の通り。

- ・ 建設活動の調整と監視、
- ・ 科学的政策と戦略、
- ・ 6 つの実験ステーションとそれに関連するインフラストラクチャーを備えた 3 本のビームラインの建設、
- ・ ビームラインの操作とユーザープログラムの実装、
- ・ 積極的な研究開発プログラムに基づく施設のさらなる開発、
- ・ 前述の業務に関連して、株主または共同契約によって利用可能なすべての財務およびその他の資源の管理、監督および管理。

EUROPEAN XFEL GmbH は、経営陣に報告するグループで組織されている。同社は EUROPEAN XFEL 評議会の統治を受け、諮問委員会の支援を受けている。

EUROPEAN XFEL 評議会は、同社の最高機関で、株主総会として機能し、企業方針の重要事項を決定する。

EUROPEAN XFEL マネジメント・ボードは、有限責任会社に関するドイツ法 (GmbHG) に基づく、マネージ

ング・ディレクター(「Geschäftsführer」)と3名の科学的取締役で構成されている。

諮問委員会は、EUROPEAN XFEL GmbH の様々な問題をサポートしている。

会社の基本的な組織単位はグループと呼ばれる。すべての社員は、経営委員会のメンバーとその職員(アシスタント、秘書、管理、監査、安全、広報)に直接従属するスタッフを除いて、グループに細分されている。各グループには、取締役に報告するリーダーがいる。

EUROPEAN XFEL 施設を建設する作業は、作業パッケージ(WP)と呼ばれるサブタスクに細分されている。ほとんどのグループは特定の WP として機能する。これらのグループのリーダーは、「ワークパッケージリーダー」とも呼ばれる。各作業パッケージリーダーは、科学監督の一人に報告する。

さらに、全社的な活動を支援する General purpose group が存在し、企業の管理に関する様々なサービス(例えば、機械的ワークショップ、エレクトロニクスを含むテクニカルサポートサービスグループワークショップなど)を提供するグループがある。

図 68 EUROPEAN XFEL の組織

XFEL Project Organization

The overall organization chart of the XFEL project down to the level of work packages is shown below. The links in the table will direct you to more information about the organizational unit you selected.

XFEL Project Board					
					XFEL Project Office
WPG-1 LINAC	WPG-2 Acc. Sub-Systems	WPG-3 Photon Beam Systems	WPG-4 Control & Operation	WPG-5 Infrastructure	WPG-6 Site & Buildings
WP-01 RF System	WP-12 Warm Magnet	WP-71 Undulators	WP-28 Control System	WP-10 AMTF	WP-31 Site & Civil Construction
WP-02 Low Level	WP-14 Injector	WP-72 Simulation of Photon Fields	WP-35 Radiation Safety	WP-13 Cryogenic	WP-41 Site Lot 1
WP-03 Accelerator Module	WP-15 Bunch Compressor	WP-73 X-ray Optics & Beam Transport	WP-36 General Safety	WP-32 Survey & Alignment	WP-42 Site Lot 2
WP-04 SC Cavities	WP-16 Lattice	WP-74 X-ray Photon Diagnostic	WP-38 Personnel Interlock	WP-33 Tunnel Installation	WP-43 Site Lot 3
WP-05 Power Coupler	WP-17 Standard Beam Diagnostic	WP-75 Detector Development	WP-39 EMC	WP-34 Utilities	WP-44 Site Engineering
WP-06 HOM Coupler	WP-18 Special Beam Diagnostic	WP-78 Optical Lasers		WP-40 Information & Process Support	WP-45 AMTF Hall
WP-07 Frequency Tuner	WP-19 Warm Vacuum	WP-79 Sample Environment			WP-47 Above Ground Lots 4-7, 9
WP-08 Cold Vacuum	WP-20 Beam Dumps	WP-81 Scientific Instrument FXE			WP-48 Above Ground Lot 8
WP-09 String Assembly	WP-21 FEL Concepts	WP-82 Scientific Instrument HED			
WP-11 Cold Magnets		WP-83 Scientific Instrument MID			
WP-46 3.9 GHz System		WP-84 Scientific Instrument SPB			
		WP-85 Scientific Instrument SQS			
		WP-86 Scientific Instrument SCS			
		WP-90 Control and Analysis Software			
		WP-91 Advanced Electronics			
		WP-92 IT and Data Management			

出典 EUROPEAN XFEL ホームページ <http://xfel.desy.de/organization/>

[EUROPEAN XFEL のデザイン]

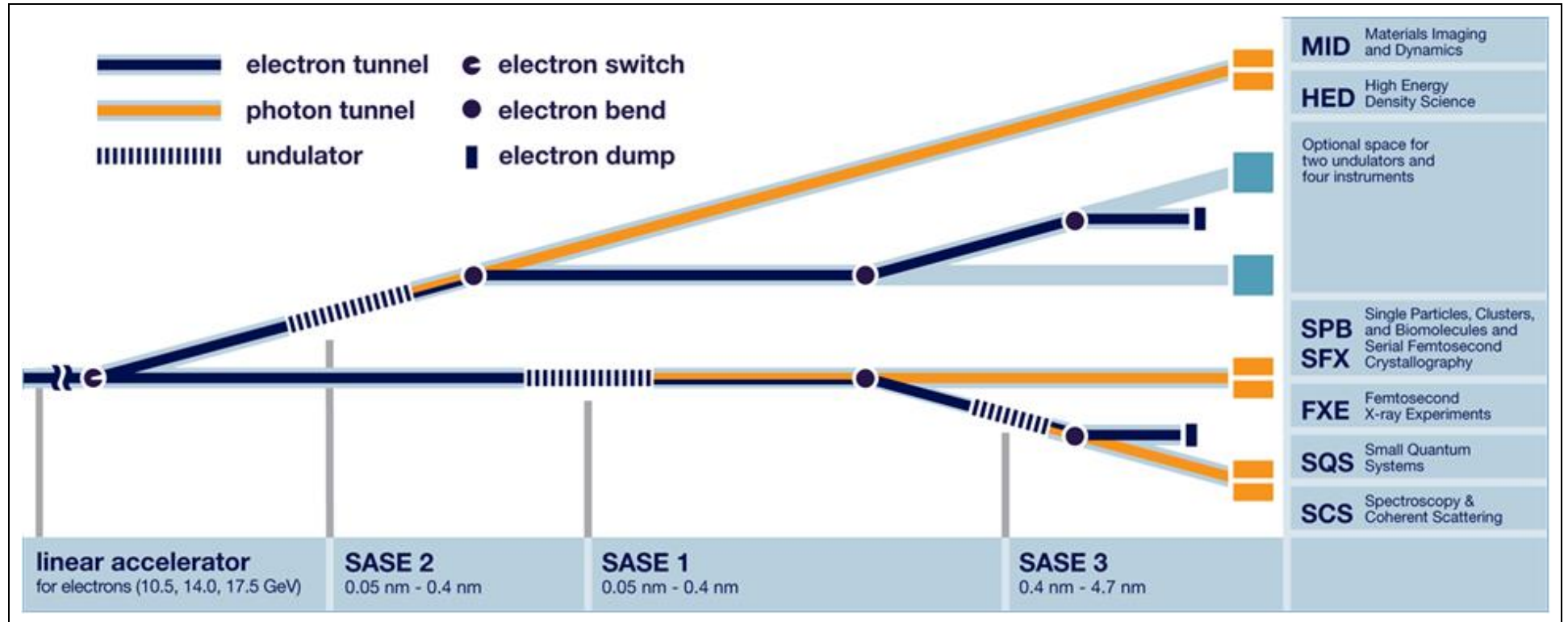
EUROPEAN XFEL は、SASE1、SASE2、および SASE3 アンジュレータで構成され、SASE1 トンネルと SASE2 トンネルの間に、将来の開発に利用可能な 2 つの追加アンジュレータトンネルがある。

表 45 EUROPEAN XFEL の特徴

	SASE1, SASE2	SASE3
Wavelengths	0.4 nm to below 0.05 nm	4.7 nm to 0.4 nm
Photon energy	3 keV to over 25 keV	0.26 keV to 3 keV
Instruments	SPB/SFX, FXE (SASE 1) MID, HED (SASE 2)	SQS, SCS
Magnetic length	175 m	105 m

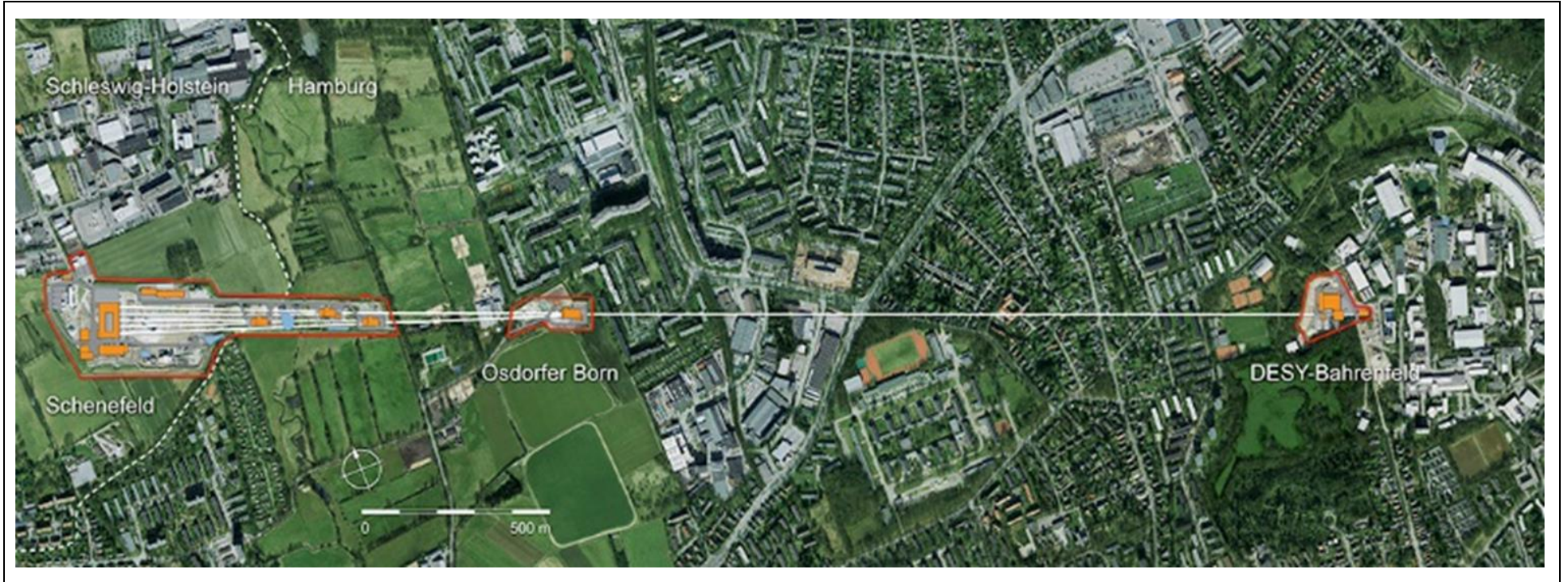
出典 EUROPEAN XFEL ホームページ <http://xfel.desy.de/>

図 69 EUROPEAN XFEL のデザイン



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ <http://xfel.desy.de/>

図 70 EUROPEAN XFEL の上空写真



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ <http://xfel.desy.de/>

[EUROPEAN XFEL の安全性、環境性]

EUROPEAN XFEL は安全な施設であり、人口密集地域での建設や運営にリスクは存在しない。事故の場合でも、環境に対する危険は発生しない。

施設は騒音も有毒な煙も発生せず、爆発することもない。しかし、運転中には電離放射線が発生するため、施設が稼働しているときに誰もトンネルの内部と実験ステーションの近くにとどまることはできない。分離ドアが開かれると、運転は自動的に停止される。

EUROPEAN XFEL は、土壌、水、および空気のいずれの脅威もない、トンネル壁のすぐ近くでさえ、20 年間の運転で土壌に発生する放射能の量は、地球に存在する放射能よりも小さく、地下水とトンネル空間の放射化は法的限界をはるかに下回っている。

通常の動作中、X 線フラッシュが生成された後、EUROPEAN XFEL に必要な電子は電子吸収体に送られ、電子吸収体ではそれらが減速され、そのエネルギーが熱に変換される。これらの電子吸収材は地面の深部の特別にシールドされたシャフトに配置されているため、表面に到達する放射線の量は通常自然界に存在する放射線に比べて無視できるほど小さい。X 線フラッシュに関しては、これらは鉛吸収材の実験の後で直接除去することができる。各実験ステーションは適切な遮蔽壁の後ろにあり、アクセス不能な区域に設置されているため、施設が稼働しているときにこれらの区域の外の実験場で作業することができる。

運転事故が発生した場合でも、施設は環境に危険を及ぼさない。電子ビームが加速器内に放置されると、集中した高エネルギーによって施設の一部が破壊され、その結果、施設全体。そのような場合には、粒子ビームは即座に対応する電子吸収体に導かれ、施設全体が一度に停止される。

[EUROPEAN XFEL の自然や環境に対する影響の除外]

大規模な開発を伴う他のすべての建設プロジェクトと同様、EUROPEAN XFEL とその建設は人間、動物、植物、田舎全体に影響を与えた。但し、施設の計画は、これらの影響を可能な限り小さくすることが追求され、結果として、気候、大気、地下水および地表水に及ぼす European XFEL の否定的な影響は除外された。

[EUROPEAN XFEL の補償措置(Compensation measures)]

補償措置には、植林地、自然に近い緑地、ヘッジ、樹木、自然に残された地域による修復近隣地域が含まれていた。これらの措置の中心的な要素は、Schenefeld 敷地とその周辺にある Düpenau 川の大規模な復元であった。EUROPEAN XFEL はすべての復興活動に資金を提供し、残りの半分はハンブルクがシュレースヴィヒ=ホルシュタイン州とシェフフェルド市と緊密に協力して地域の約半分を率いて取り組んだ。EUROPEAN XFEL は、1 キロメートルの長さの小川の復興活動も行った。EUROPEAN XFEL は、報酬措置の一環として Feldmark 内に新しい生け垣を設置した。歴史的に、ヘドゲートはフェルドマークの放牧地の境界として建設されましたが、その間に数多くの種の植物、例えばギルダー・ローズ、エルダーベリー、アスペン、サンザシなどが宿って生態系になっている。再生の最後の段階で、EUROPEAN XFEL は、主要な研究キャンパスにシルバーバーチ、ヨーロッパのブナ、灰、オークなどの地元の種を含むより多くの樹木と低木を植えている。植物は、数多くの異なる鳥や他の野生動物に巣作りの機会を提供し、世界をリードする研究施設の場所を、地元の自然が繁栄するための非常に魅力的な場所になっている。

図 71 復元された湿地帯の例



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ https://www.xfel.eu/facility/safety_and_environment/index_eng.html

2) DESY の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

①科学的構成要素の計画、土木建設、生産、および設置

2006年に開始されたこの施設の技術的側面の計画は、EUROPEAN XFEL テクニカルデザインレポートの発行としてまとめられている。その後、ハンブルグの DESY キャンパス内および周辺の EUROPEAN XFEL のオフィスやラボで、特定のコンポーネントが研究され、厳しいエンジニアリングと設計フェーズが進められた。パートナー国は、各国の国立研究所および各国の大学で特定のコンポーネントを開発し製造する特別な現物寄付を行った。合計で 22 の施設が 79 機関からの寄付により賄われた。これは EUROPEAN XFEL 全体の建設コストと試運転コストのほぼ半分をカバーする。これらの貢献は、各パートナー国の民間産業を刺激し、各国機関が新しい先端技術と技術を開発する機会を提供した。

EUROPEAN XFEL の建設は 2009 年に開始された。地下に大規模な施設が設置され、初期の作業の多くは、最終的に実験ホールを含むレーザーのインフラへのアクセスを提供するシャフトコンプレックスの建設に費やされた。2 年近くにわたって、作業員はこれらの複合施設の間トンネルを掘った。トンネルの合計 5.8km は 2 つの異なる掘削機 (TULA と AMELI) によって掘られた。TULA (「レーザー用トンネル掘削機」の略) は、約 5m 幅であり、施設の加速器および硬 X 線アンビルのトンネルを掘削した。トンネルシステムの残りのセクションは、4m 幅の AMELI (「Am Ende Licht」の略で、「終わりには光」のためのドイツ語) を使用して掘削された。

トンネルが完成した後、Schenefeld の実験棟などの他の地下構造物を完成させるために多くの作業が行われた。

図 72 土木工事の様子(造成)



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ <http://xfel.desy.de/>

図 73 土木工事の様子(区画内整備)



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ https://www.xfel.eu/facility/construction/overview/index_eng.html

図 74 上記の完成後の様子



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ https://www.xfel.eu/facility/construction/overview/index_eng.html

図 75 並行して実施された地上工事の様子



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ https://www.xfel.eu/facility/construction/overview/index_eng.html

図 76 上記の完工後の様子



出典 EUROPEAN XFEL ホームページ https://www.xfel.eu/facility/construction/overview/index_eng.html

この国際的な取り組みの主な焦点の 1 つは、超伝導線形加速器の建設であり、8 カ国 22 の寄附機関のうち 17 チームが参加した。DESY が率いる EUROPEAN XFEL 加速器コンソーシアムは、世界最長の超伝導線形加速器のすべての部品の配達、徹底的な試験、および慎重な組み立てを実施した。また、X 線を発生させるアンジュレータの 92 セグメントの製造、組み立て、チューニングが実施された。

建設フェーズの一環として、EUROPEAN XFEL は集中的な研究開発プログラムを開始した。高度に熟練した科学者、エンジニア、技術者は、既に設置されていた検出器ホール HERA-South を含む、DESY 内およびその周辺のいくつかの建物に実験室を設置した。そこでは、世界中のシンクロトロンとフリー電子レーザー施設で試験されたコンポーネントの開発と構築に取り組むことができた。これらの中には、6 つの特殊な装置のためのシステム、科学機器内にサンプルを確実に提供するための構成要素、X 線フラッシュをフィルタリングおよび集束する光学要素、X 線の特性を監視するための診断装置、前例のない効率で動作する検出器、データを処理してレーザーを操作するためのインフラストラクチャーで構成された。2013 年に地下建設が完了すると、科学技術グループはインフラ整備を開始することができた。最初の機器ハッチ構造は 2014 年に設置され、HED 機器用の重いコンクリートによる施工が開始され、その後すぐに、他の機器のハッチの形成が開始、トンネルにはビームラインが充填され、診断機器と X 線光学部品がビームパイプに組み込まれました。

機器そのものについては、6 つの中核的な研究開発グループにより形成され、それぞれが最先端の実験ステーションを組み立てることを目標としていた。FXE、HED、MID、SCS、SPB / SFX、および SQS 機器の設計努力は、生物学的構造、超高速プロセス、極限状態の物質、新規材料などを調査するためのツールを開発する上で不可欠とされた。

最後に、2016 年に最初の 2 つの機器、FXE と SPB / SFX が形成され、最初のアンジュレータが設置、リニアアクセラレータが完成した。2017 年 5 月、施設で最初の X 線レーザーフラッシュが生成され、1 ヶ月後に、X 線の試運転、2017 年 7 月 1 日、施設は運用可能と宣言された。

②関連法規制

[関連する法規制の一覧]

EUROPEAN XFEL の計画、建設、運用に関わる法規制の一覧は次の通り。

表 46 関連する法令等

法律、規則等名称	概要	備考
建設工事騒音一般行政規則 AVV Baulärm ⁶	建設工事中の騒音による周辺地区への影響低減を目的とする対策を規定。	1970.8.19
鉱物性廃棄物の資源利用に関する要件、州廃棄物作業部会 (LAGA) 技術規則 Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen ⁷ , Technische Regeln, Landesarbeitsgemeinschaft Abfall; LAGA ⁸	掘削土壌の処分方法に関し適用。	最新版は 2003.1.6 発行。 連邦・州の経済担当官庁の合同作業部会にて採択。
雨水貯留池の規模算定に関する技術指針 Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen ⁹	工事現場において滞留した雨水等の処理方法を定める。	2001.3.(最新版 2013.12.) ドイツ水利・排水・廃棄物協会 DWA が発行
作業現場ガイドライン「換気」 Arbeitsstättenrichtlinie Lüftung ¹⁰	労働安全衛生基準の一つ。建設工事現場の換気の要件	1979.8.制定、1984.9.13.改定作業現場令に基づく 連邦労働保護・労働医学院 BAuA 発行
作業現場ガイドライン「休息所」 Arbeitsstättenrichtlinie, Pausenräume ¹¹	労働安全衛生基準の一つ。建設工事現場の休息施設設置基準	1977.4.25.制定、1988.8.1.改定作業現場令に基づく 連邦労働保護・労働医学院 BAuA 発行
作業現場ガイドライン「落下及び落下物に対する保護」 Arbeitsstättenrichtlinie Schutz gegen Absturz und herabfallende	労働安全衛生基準の一つ	1986.8.10.制定作業現場令に基づく

⁶ http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwbund_19081970_IGI7501331.htm

⁷ https://www.laga-online.de/documents/m20_tr_mineral-abfaelle_allgteil-i_1503992397.pdf

⁸ <https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Mitteilungen.html>

⁹ [http://www.dwa.de/dwa/shop/produkte.nsf/72FB846A4A2E8774C1257C450082A1AB/\\$file/vorschau_dwa_a_117.pdf](http://www.dwa.de/dwa/shop/produkte.nsf/72FB846A4A2E8774C1257C450082A1AB/$file/vorschau_dwa_a_117.pdf)

¹⁰ https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-6.pdf?__blob=publicationFile

¹¹ https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A4-2.pdf?__blob=publicationFile

法律、規則等名称	概要	備考
Gegenstände ¹²		連邦労働保護・労働医学院 BAuA 発行
作業現場ガイドライン「昇降設備」 Arbeitsstättenrichtlinie Steigeisengänge und Steigleitern ¹³	労働安全衛生基準の一つ	1997.5.制定作業現場令に基づく 連邦労働保護・労働医学院 BAuA 発行
作業現場ガイドライン「トイレ」 Arbeitsstättenrichtlinie Toilettenräume ¹⁴	労働安全衛生基準の一つ	1976.6.26.制定、1979.4.20.改定作 業現場令に基づく 連邦労働保護・労働医学院 BAuA 発行
降水の浸透設備の計画、建設及び運用 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser ¹⁵		1999.11.発行規則案
建設法典 Baugesetzbuch	各州の建築基準の大枠を統一する規範法。	2005.6.21 最新改正
民法典 Bürgerliches Gesetzbuch	私有地の直下に建設されることから所有権などの確認のため の引用と思われる。	2002.1.2.大改正、2006.4.19.最新 改正
文化財保護法 Denkmalschutzgesetz		2006.4.4
労働に際しての業務従事者の安全及び保健の改善を目的とする対策の実施に関する法律(労働保護法) Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit		1996.8.7.制定、2004.7.30.改正
環境影響評価法 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung		2005.6.25.大改正
機器・製品安全法 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz		2004.1.6.制定、2005.7.7.改正

¹² https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A2-1.pdf?_blob=publicationFile&v=3

¹³ <http://www.hiracon.info/Recht/ASR%20020.pdf>

¹⁴ http://www.ruecken.gesundheitsdienstportal.de/cdraig/08-rec/pdf/asr/asr_37_1.pdf

¹⁵ [https://www.dwa.de/dwa/shop/produkte.nsf/57ECC55BDE208872C125753C0033515B/\\$file/vorschau_dwa_a_138.pdf](https://www.dwa.de/dwa/shop/produkte.nsf/57ECC55BDE208872C125753C0033515B/$file/vorschau_dwa_a_138.pdf)

法律、規則等名称	概要	備考
シュレスビヒ・ホルシュタイン州自然保護法 Landesnaturenschutzgesetz		2003.7.13.制定、2005.2.1.改正
化学製品法 Chemikaliengesetz		2002.6.20.制定、2005.9.1.改正
汚染防止法 Immissionsschutzgesetz		
文化財保護法 Gesetz zum Schutz der Kulturdenkmale		
X線レーザー領域の自由電子レーザー施設の建設に関するハンブルグ州及びシュレスビヒ・ホルシュタイン州の州間協定 Gesetz zum Staatsvertrag zwischen der Freien und Hansestadt Hamburg und dem Land Schleswig-Holstein über die Errichtung eines Freien-Elektronenlasers im Röntgenlaserbereich		
X線レーザー領域の自由電子レーザー施設の建設の前提整備に関するハンブルグ州及びシュレスビヒ・ホルシュタイン州の州間協定に関する法律 Gesetz zum Staatsvertrag zwischen der Freien und Hansestadt Hamburg und dem Land Schleswig-Holstein über die Schaffen der planerischen Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb eines Freien-Elektronenlasers im Röntgenlaserbereich		
ドイツ連邦共和国基本法 Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland		
ハンブルグ州建設規則 Hamburgische Bauordnung		
ハンブルグ州自然保護・景観維持法 Hamburgisches Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege		
ハンブルグ州水法 Hamburgisches Wassergesetz		
デューペナウおよびミュレナウ景観保護地域に関するピンネベルク郡条例 Kreisverordnung des Kreises Pinneberg über das Landschaftsschutzgebiet Düpenau und Mühlenau		
シュレスビヒ・ホルシュタイン州建築規則 Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein		
建築監督手続きに際しての建築申請に関するシュレスビヒ・ホルシュタイン州法令		

法律、規則等名称	概要	備考
Landesverordnung über Bauvorlagen im bauaufsichtlichen Verfahren		
ハンブルグ州森林法 Landeswaldgesetz		
生態系、野生動物及び植物の保護に関する欧州指令 Richtlinie 92/43/EEC		
水源地域における道路近傍における建築工事に関するガイドライン Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten		
連邦汚染防止法実施規則第 6 部 Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz		
X 線レーザー領域の自由電子レーザー施設の建設の前提整備に関するハンブルグ州及びシュレスビヒ・ホルシュタイン州の州間協定 Staatsvertrag vom 28. September 2004 zwischen der Freien und Hansestadt Hamburg und dem Land Schleswig-Holstein über die Schaffung der planerischen Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb eines Freie-Elektronen-Lasers im Röntgenbereich		
道路交通規則 Straßenverkehrsordnung		
作業現場規則 Verordnung über Arbeitsstätten		
電離放射線からの防護に関する法令 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen		
土地の建築利用に関する法令 Verordnung über die baulichen Nutzung der Grundstücke		
作業用資材の用意と使用に際しての安全と健康保護、監督対象施設の操業上の安全並びに労働衛生保護の組織に関する法令 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmittel und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes		
グロス・フロットベック村域内の景観地区の保護に関する条例 Verordnung zum Schutz von Landschaftsteilen in der Gemarkung Groß Flottbek		
オスドルフ村域内の景観地区の保護に関する条例		

法律、規則等名称	概要	備考
Verordnung zum Schutz von Landschaftsteilen in der Gemarkung Osdorf		
危険物令 Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen		
行政費用法 Verwaltungskostengesetz		
行政裁判規則 Verwaltungsgerichtsordnung		
駐輪場規則 Verwaltungsvorschriften zu § 55 der Landesbauordnung - Stellplätze und Garagen, Abstellanlagen für Fahrräder		
シュレスヴィヒ・ホルシュタイン州森林法 Landeswaldgesetz		
シュレスヴィヒ・ホルシュタイン州水法 Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein		
民事訴訟規則 Zivilprozeßordnung		

出典 Planfstellungsbeschluss fuer den Bau und Betrieb des Roentgenlasers XFEL, DESY

[機器の安全性と事故防止]

設計上の考慮事項

機器の設計には、次のようなさまざまな安全対策が組み込まれている。

- ・ DESYケーブル仕様に準拠した非ハロゲンケーブルおよび断熱材の使用。難燃性ケーブル材料は、トンネルや地下空間で使用されている。
- ・ 圧力容器および圧力ラインの設計は、欧州圧力容器指令の要件、または同様の安全規格の実装に従っている。
- ・ 機械、移動機器、運搬車両、および持ち上げ装置の設計は、欧州機械指令 (European Machine Directive) の要求事項と調和した欧州の基準に準拠している。
- ・ 電気機器および設備の設計は、欧州低電圧指令および適用規格 (EN、VDE、IECなど) の要件に準拠している。
- ・ トンネル内で使用される輸送車両は、緊急避難路の狭い領域を照らすヘッドライトや狭い避難路の場合の誘導のための安全柵などの安全機能を備えている。
- ・ 水に危険な物質を含ませる可能性のある設備は、そのような設備の規則に従って設計される。これには、二重壁装置または適切な二次格納容器の使用、ならびにパルス変圧器のような水に危険な物質を大量に保持する機器の技術的または組織的漏れ検知措置が含まれる。

設備の安全運転のための要件

機器の安全な運用を確保するため、以下の措置が実施されます。

- ・ 試運転の前に、すべての固定電気機器およびドイツおよび/またはEU法の監督を必要とする設備の初期検査が行われる。これには、具体的には、圧力容器、クレーン、エレベータ、輸送車両が含まれる。すべての機器は既存の検査データベースに含まれ、定期的なフォローアップ検査も行われる。
- ・ その他の機器 (移動式電化機器、門、安全キャビネット、非常灯、火災警報システムを含む) については、機器の安全運転に関するドイツ条例に基づいて定期検査が行われる。
- ・ すべての作業場について、リスク分析はドイツおよびヨーロッパの法的要件に従って行われる。

建設フェーズのための組織の健康と安全の要件

建設段階における具体的な安全予防措置は、各建設現場の健康安全計画 (SiGe-Plan) として確立される。

建設フェーズ中の安全要件の実施を監督するため、健康安全コーディネーターが任命される。

人事方針の状況

XFEL GmbHの人事管理および給与ポリシーは、ドイツの法的枠組みに依存する。ドイツ法に基づく民間企業として、XFEL GmbHは、現在の労働法を含むドイツの法律の対象となる。公共部門で支払われた給与尺度に類似した給与尺度および就業時間が規定されている (したがって、DESYおよび他のドイツの研究センターにおけるそれとあまり変わらない)。DESF (雇用保証、追加年金制度など) のような公共サービスの組織の従業員が利用できるいくつかの積極的な機能は、XFEL GmbHを労働市場で競争力を持たせている。

[放射線安全]

放射線防護の考慮事項

XFELの運用が公衆(地元住民)と環境に及ぼす影響が最も重視されており、迷走放射線から直接的に、または施設から放出される土壌や地下水や空気、クーラントの潜在的な活性化を通じて、公衆への放射線量(線量)の制限が重視されている。

ドイツ規制とALARA(As Low As Reasonably Achievable)原則に従い、公衆の線量限度の目標が設定された。

ドイツの規制によれば、放射能放出(活性化空気、水など)からの直接放射および放射線による最大許容個人線量は1 mSv / aであり、放射能放出による放射だけで0.3 mSv / aである。ALARAの原則を考慮すると、XFELの計画目標は上記の限界の1/10である。これにより、放射能放出による直接放射と放射能、および放射能放出のみによる放射から0.03mSv / aで、一般に0.1mSv / 人となる。ドイツ北部の自然線量は約1~2mSv / aである。

DESY放射線防護グループによって実施された公衆と環境への放射線影響の研究は、独立したドイツの研究所であるÖko-Institut e.V.ダルムシュタット。Öko-Institut e.V.ダルムシュタットにより評価され、基本的な仮定と計算が同意され、予想通りにXFELの実装に欠けている問題や問題を発見されなかった。

[一般安全]

火災安全と緊急時対応のための組織要件

以下の組織的な火災予防措置が実装されている。

- ・ 緊急退避計画と火災安全規制 (Brandschutzordnung Teile A, B, C)ならびに消防隊の緊急計画が確立され、従業員は火災安全規則で定期的に指導される。
- ・ 特定の火災安全予防措置を規定する溶接許可がすべての建物の熱間作業に必要とされる。
- ・ 全段階(建設、据付、試運転、保守および運転)中にトンネルおよびシャフトで喫煙を禁止する。
- ・ 緊急時対応策には以下が含まれる:
 - 15分の応答時間内にXFEL設備内のすべての領域に適格な救急医療機関による応急処置を確実に提供できる緊急時対応システム。そのような従業員がいる地域でのストレッチャおよび救助椅子の使用を含む、移動が制限されている従業員の避難に関する特定の対応策。
 - トンネル内に傷ついた人を避難させるための、特定の車輪付きの引っ張り運搬船。

3) DESY の建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①主に安全性について想定されたリスクに対する備え

[火災の安全と緊急対応]

トンネルと建物の防火対策は、XFELの建設、停止、保守、運用中の全ての期間で実施される必要がある。これらのフェーズのすべてにおいて、トンネルへのアクセスは訓練され、指示された要員に限定されている。トンネルと建物は、人々が火災発生時に安全な場所に安全に避難できるように設計されている。この目的のために、XTLトンネルは、約600mの個々の長さを有するセグメントに分割される。セグメントは、防水壁と水カーテンとの組み合わせで区切られている。他の各トンネルの長さは700mを超えない。全てのトンネルは、30分の耐火時間を有する耐火壁によってシャフトから分離されている。

地下実験室には、自動火災検知システムと煙排出システムが装備されている。サポート構造は、耐火時間90分の耐火建築材料で構築されている。このエリアからの最大逃避ルートは40mと規定されている。

すべての地下の火災荷重はできるだけ低く抑えられている。具体的には、難燃性ケーブルのみが地下で使用されている。地下に可燃物を保管することは禁止されている。

これらの主要措置に加えて、以下に詳述するように、火災探知および消火システムならびに緊急対応のための組織的および技術的措置が導入されている。

火災検知、警報および消火システム;

- ・すべてのトンネルと地下の建物には、火災検知システムとローカルシステムが備わっている。
- ・XTLトンネルと、比較的高い火災負荷を伴う2つのXTDには、煙排出システムが設置されている。
- ・他の建物には、自動避難警報(サイレン)を備えた火災探知および現地化システムが装備されている。
- ・トンネルは、少なくとも50mごとに接続された防水パイプからなる消防用水道に接続されている。
- ・実験室と建物は消防用水にも接続されている。設置段階では、可動式カーテンがリニアックトンネル(XTL)に設置されている。
- ・電子ラックには、煙が検出された場合に自動的に稼働するラックに組み込まれたローカル不活性ガス消火システムが装備されている。
- ・トンネル内の変圧器は水霧消火システムを備えている。

トンネルと建物の通信システム

- ・通信ブースは、すべてのトンネルに最大距離50mで設置されている。設置されている通信システムは、ラジオ、携帯電話、消防隊のラジオによる通信を可能にする。

非常用電源および非常用照明

- ・すべてのトンネルと建物には非常用照明が備わっている。さらに、すべてのトンネルには、主電源が故障した場合の安全に関連する設備の操作性を維持するための非常用電源が装備されている。緊急供給は、煙抽出システム、通信システム、緊急照明、避難経路の看板をカバーする。

アクセス監視システム

- ・トンネルとシャフトには、個分離されたアクセス監視システムが装備されている。

[人員インターロック(Personnel interlock)]

人員連動システムは、ビーム操作によって確立された放射線制限区域の安全を確保するための加速器放射線安全システムの能動的な部分である。

このシステムの主な役割は、危険の場合に関連するすべての放射線発生装置のスイッチを切ることで、人が偶発的に放射線に曝されるのを防ぐことである。

この目的のために、緊急オフスイッチ、アクセスドア、安全キーボックス、またはビームシャッターなどの設備には、電気接点およびスイッチが装備されている。それらの信号は、警報手順後にビーム操作許可が生成されるセントラルインターロック論理ユニットで処理される。インターロックシステムのこの許可は、クライストロン、キッカー、セプタムまたはマグネットのようなアクセラレータコンポーネントを操作するため、またはビームシャッターおよびアブソーバを開くために必要とされている。安全入力信号の1つが消える場合、これらのコンポーネントは安全にスイッチを切るか、ビームシャッターを閉じる必要がある。

DESYには、信頼できる複雑なインターロックシステムの概念的かつ技術的な設計と構築に40年以上の経験がある。XFELの場合、最近の5年間にDESYで開発されたテクノロジーが使用され、FLASH施設の完全インターロックシステムと他のDESYアクセラレータインターロックのサブシステムで正常に機能している。PETRA3とその実験及び事前加速器については、この技術が使用されている。新技術の一般的な概念はドイツのTÜV (Technischer Überwachungs-Verein) の専門家によって承認されている。

安全性が高いすべての機能は、2つの独立した冗長システムに基づいている。

ローカルインストール時のコンタクトとスイッチは二重で、それぞれに独自の配線がある。

それらの信号は論理ユニットで並列処理され、警告処理を開始するには両方のシステムの承認が必要で、ビーム生成装置をスイッチオフするために、常に2つの異なる冗長方法が選択され、それぞれがビーム動作許可インターロックの別個のシステムによって制御される。

もう一つの重要な設計上の特徴は、システムのフェールセーフである。故障や損害が発生した場合は、安全な状態を確保しなければならない。例えば、ビームシャッターは、圧力がかからない状態で閉じるように設置されている。停電や断線したケーブルや接触は信号チェーンを中断する。

モジュラーサブシステムのツリー構造は、システム内の透過的な信号フローを実現し、アップグレードおよび変更柔軟性を持たせる。信号パスには、簡単なテスト手順を可能にする割り込みボタンが装備されている。法律によれば、公式のインターロック試験手順は、少なくとも年に1回実施されなければならない。

システムが正常に動作するためには、すべてのコンポーネントの安定動作が必要であり、故障の場合には、容易な修理または交換が可能でなければならない。無停電電源装置は、主電源障害の場合にインターロックシステムを動作させるためにも使用される。

多くのリモートインターロックサブシステムを備えたXFELのような大型アクセラレータでは、主アクセラレータ制御室でステータスに関する情報を入手できる必要がある。新しいインターロック技術は、インターロックコンソールでの監視、イベントロギング、およびいくつかの機能の動作を可能にするために、アクセラレータ制御システムによって使用されるコンピュータに接続している。

②主に調達等について想定されたリスクに対する備え

[ロシアの in-kind 貢献]

ロシアの貢献は当初、25%程度が見積もられていた。基本的にin-kindとなる。

DESYの職員がロシアを訪問、ロシアからはDESYに20人規模で職員が派遣され、ロシアが貢献しようとしていた30アイテムについてシステム構成に対する適格性について検討が進められた。

いくつかのアイテムでシステム構築に当たってリスクが見つかり、それらのアイテムを貢献から削除して頂き、結果として20%程度の貢献度となった。

リスクの内容は、主に使用している素材の問題及びシングルサプライヤーしかおらず(ウクライナなど、ロシアの軍事産業を支えた地域)、仮にその供給元に何らかの事象が発生し、供給が困難、もしくは供給に遅れが発生するような場合、他のサプライヤーを探す手間と時間が係ってしまうというものであった。

素材についても、CE(製品安全)等の認証が得られていれば通常は、問題無いが、ロシアの場合、基準自体が異なるケースもあり、その見極めも重要となっている。

これはDESYの責任であり、DESYが回避すべき技術面でのリスクであった。もちろんDESYは技術面のみならず、規制や資金調達の面でもリスクを回避する、もしくは低減する責任を有している。

そういった面でパートナーコストという概念もある。これは、貢献してくれる国や研究機関、国に何らかのトラブルが発生し、資金や機器の供給が期日通りになられず、もしくはそもそもキャンセルされてしまった場合、遅れが遅れを招き、追加的な労働力が必要となったり、パートナーを別途探す必要が発生したり、代替の機器や機材を調達しなければならなくなったりといったものである。それらは最終的にコストを上昇させることに繋がり、当初想定していたコンテンジェンシーの幅を脅かすことに繋がる。

1年の追加、建設の遅れは、10%のコンポーネントの向上に結びつき、1年分の労働力の調達のみならず、各人に支払うサラリーの高騰も避けられない。

これらパートナーリスクを回避、削減することもコーディネータの重要な仕事である。技術的なチャレンジは大いにすべきであるが、こういった分野でのチャレンジはあってはいけない。EUROPEN XFELがDESY依頼したところがまさにこの部分であり、プロジェクトマネジメントの大切さ所以である。

[サクレと DESY 間の物流費の負担]

コスト面で当初想定していなかったものがあつた。

基本、加速器は、サクレにて点検が実施され、DESYに持ち込まれ設置が進められた。よって、ハンブルグとパリの間の機器の移動が頻繁に起こることとなり、実は、この部分のコストの見積りが甘かった。

サクレにはXFEL Villageという名称のアッセンブリ及びコミッションングが行われる施設が設置されて、これらはin-kindでの貢献となっているが、輸送については、in-kindという訳にはいかず、結果的にDESY側で負担することとなった。

③予期せぬ事象の発生と対応

EUROPEAN XFELでは、これまで2つの予期せぬ事象が発生している。一方で、これ以外の、例えば労働者に影響を与えるような事象は発生していない。

[トンネル掘削時の地質変化による掘削機のブローアウト]

トンネル工事中に地層が変化し、掘削機のフロント部分に圧力がかかりすぎモーターがブローアウト、その結果、小さなクレーターを作ってしまった。当然、ブローアウトしたことから、衝撃が周辺に繋がり、周辺

住民が政府機関や消防等に連絡、メディアにも伝わり、事故として取り上げられることになった。原因究明もその後の処置も迅速かつ適切に行われたことから、その後の工事に支障が出ることはなかった。

[トンネル掘削時の一般家庭の庭の陥没]

第二次世界大戦時に設置された防空壕だと思われる穴が原因で、トンネル掘削時の振動により住宅の庭が50cm程度陥没、丁度、そこで遊んでいた事もその穴に落ちてしまうということがあった。実際にトンネルが突き抜けてしまった訳ではなく、振動等により既存の穴に土壌が落ちてしまったことが原因と考えられているが、これも予期せぬ事象となった。当該家庭は、母親がDESYで働いており、大きな騒動に発展することはなかったが、近隣との十分な話し合いが繰り返され、ジャーナリストとの対応や政府対応も必要となった。

4) DESY の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

①プロジェクト計画に組み込まれ定期的にアップデートされるリスク対応の仕組み

XFEL管理委員会は、以下を含むプロジェクト計画を策定し、順次、更新している。

- ・プロジェクト構造計画。
- ・プロジェクトスケジュール。
- ・プロジェクト原価計算計画(時系列プロファイルによる財務計画)。
- ・リソース計画。

プロジェクト構造計画には、XFEL施設の建設および試運転に関するすべての活動が含まれている。関連タスクは作業パッケージとして構成されている。関連する作業パッケージは、作業パッケージグループを形成する。作業パッケージリーダーは、作業パッケージの実装を担当している。

プロジェクト構造計画の完了時間とこれらの要素間の関係により、プロジェクトスケジュールが作成されている。それは、ネットワーク計画(PERTチャート)と、さまざまな作業ステップ間の相互関係が表示され、プロジェクトスケジュールのクリティカルパスが確立される棒グラフ(ガントチャート)として表されている。プロジェクトのスケジュールには、該当するマイルストーンが含まれている。合理的な間隔でプロジェクトスケジュールが更新され、プロジェクト構造計画の要素の完成度が示されている。

プロジェクト原価計算計画では、プロジェクト全体およびプロジェクト構造計画の個々の要素の時間の関数として計画経費と資金調達が見込まれている。プロジェクト実施中は、必要な場合、予算コストと実際の支出および対応する資金が継続的に追跡され、傾向分析が作成されている。

プロジェクトスケジュールまたはプロジェクト原価計算計画が基本計画から逸脱した場合、必要なリソースは、必要に応じて参加部門(XFELおよび/またはDESY)および必要に応じて現物寄贈者にフィードバックされる。

暫定製品、作業パッケージ、またはその他の作業手順の完了後、その結果を品質基準と比較し、文書化する。品質基準が達成されていない場合、または作業が遅れて完了した場合、プロジェクトへの影響が分析され、文書化される。この文書は、プロジェクト計画の進捗を管理する重要な文書である。

理事会は、プロジェクトの変更を文書化し、プロジェクト内でどのように情報伝達するかを含む、プロジェクト変更の許可を与えるための計画を策定する。プロジェクト計画、特にプロジェクトの構造計画、スケジュール、原価計算の基本的な変更は、必要に応じて、XFEL理事会の承認後、XFELマネジメントボードによって書面で確認されなければならない。この承認計画もまた、プロジェクト計画の進捗を管理する重要な文書である。

内部プロジェクトのコミュニケーションは、外部機関や委員会への報告とともに、プロジェクト管理のプログラミングシステムによってサポートされている。すべてのプロジェクトメンバーは、特にプロジェクトスケジュール、原価ベース計画、およびリソース計画に関して、活動分野の情報にアクセスする必要がある。具体的なコミュニケーションスキームは、プロジェクトのより大きな領域を見ることができるのは誰で、どのように、標準化されたレポートにアクセスするのか、プロジェクトの変化をどのような方法で通知するのか、などが含まれ、管理されている。

プロジェクト内のコミュニケーションには、プロジェクト文書の管理が含まれる。プロジェクト構造計画の各要素について、関連文書(計画文書、品質管理のための生産文書およびプロトコルなど)を容易に検索できなければならない。

リスク分析は、リスクの特定、イベントの発生の可能性に関する定量化、およびプロジェクトへの影響から構成される。リスク分析は、適切な間隔で更新し、文書化しなければならない。これらの文書は、プロジェクト計画の一部となる。

監督委員会は、少なくとも年に2回、プロジェクトの進捗状況を評価する。進捗レポートには、プロジェクト管理

のためにプログラミングシステムによって生成された、少なくとも以下の更新情報が含まれている。

- ・クリティカルパスを持つネットワークプラン。
- ・マイルストーンを含む棒グラフの形式のスケジュール。
- ・マイルストーン分析。
- ・獲得価値分析。
- ・計画された資源の利用を示す資源計画。
- ・更新されたリスク分析。

なお、情報の査定日は、可能であれば、作成されるべき他の報告書と調整されるべき、とされている。

XFELプロジェクトリーダーは、プロジェクトチームを調整し、指導し、動機づけ、全体的なプロジェクト計画を発表、プロジェクト計画全体のコンテキスト内で作業パッケージの作業計画を承認し、プロジェクトの全体的な技術的および科学的進歩を保証する。リリースされたプロジェクト計画は、問題や課題が含まれる場合にソリューションの開発を促すものとなる。プロジェクトリーダーは、個々の作業パッケージに財務リソースと人材リソースを割り当てる。プロジェクト関連のマイルストーンを確立し監視することにより、プロジェクトスケジュールを追跡、監督委員会に報告する。

作業パッケージリーダーは、作業パッケージ内のタスクのプロジェクトリーダーと同じ責任を果たす。彼らは作業パッケージ内のタスクのスケジュールリングとリソース計画に基づく作業パッケージ計画を立てる。この計画はプロジェクトリーダーによって承認され、プロジェクト計画の全体の中でリリースされる。作業パッケージリーダーは、承認された計画に従ってタスクを実行する責任がある。作業パッケージの進捗状況は、実績値で更新されることによってプロジェクト計画に適切に反映、記録される。作業パッケージリーダーは、作業パッケージのステータスについて定期的にプロジェクトリーダーに報告する。

XFELプロジェクトリーダーとプロジェクトチームは、プロジェクト管理オフィスがサポートしている。プロジェクトマネジメントオフィスは、XFELプロジェクトの計画と報告のガイドラインを確立し、必要なツールを提供している。個々の作業パッケージ計画が正式にそれらのガイドラインに従っていることを保証し、プロジェクトリーダーの承認を得て、一貫した全体プロジェクト計画を作成することが可能となる。プロジェクトマネジメントオフィスは、プロジェクト内のステータスを調整し、XFELプロジェクトリーダーの全体的なプロジェクトステータスを構成する。プロジェクトの財務状況を把握し、この情報をプロジェクトチームに提供する。必要に応じて、計画やその他の管理や管理業務でワークパッケージリーダーをサポートする。

②組織全体に Microsoft Project Server プロジェクト管理システムを実装

XFEL建設プロジェクトでも採用され、DESYのXFELプロジェクトグループが実施しているプロジェクト計画のアプローチは、ワークパッケージリーダーが作成したボトムアッププロジェクト計画をシステム化したものであり、クロスワークパッケージのマイルストーンを全体的なプロジェクト計画に反映させている。個々の作業パッケージ計画は、作業パッケージリーダーによって管理されているが、変更等の場合、XFELプロジェクトリーダーによってプロジェクト全体のスケジュールとして発表される。プロジェクト計画には、スケジューリング、人員、財務、設備リソースの割り当てが含まれている。計画のメンテナンスには、必要な変更(変更管理によって処理される)の場合の更新と、人事、財務および設備使用の実際の値が含まれている。XFELプロジェクトはヨーロッパの取り組みであり、XFELサイトに所在していないパートナーが管理する作業パッケージも使用しているため、すべてのパートナーが簡単にプロジェクト管理ソフトウェアを利用できるようにする必要がある。進捗管理の中心ツールとなるため、XFELパートナーの管理で使用されるさまざまなエンタープライズリソースプランニング(ERP)ソフトウェアパッケージから実際の財務データをインポートする必要がある。DESYでは、これをSAPシステムと呼んでいる。

ERPとして、Microsoft Project EnterpriseとMicrosoft Project Webアクセスは、最も広く使用されているプロジェクト管理ソフトウェアであり、すべてではないにしても大部分を満たしているため、XFELプロジェクトチームの中心的な計画と管理ツールは、このソフトウェアを活用している。財務データは、可能な範囲で、原価管理のため自動的にインポートされている。Webアクセスは、プロジェクト管理およびプロジェクトチーム全体のオンラインプロジェクト進捗管理情報ソースとして使用されている。

プロジェクトの追跡と管理は、マイルストーン傾向分析や獲得価値分析などのプロジェクト管理のベストプラクティスに係る技術が活用されている。

Milestone Trend Analysisによるグラフィカルサポート

マイルストーン傾向分析(MTA)は、選択されたプロジェクトマイルストーンの履歴と予後を見やすく提供している。レポートの時間的な偏差をグラフィカルに表示し、プロジェクトマネージャーが将来の期限内のボトルネックを適切に識別し、プロジェクトをより効率的に管理できるよう支援している。DESYで使用されているマイルストーン傾向分析ツールは、TPG MTAクライアントで、Microsoft Projectの拡張機能として実装されている。

TPG ProjectLink - リンクと概要による透明性

最初に、全体計画案とサブプロジェクト間の依存関係は、マスタープランにサブプロジェクトを外部リンクとして加えることで作成されていた。しかし、プロジェクト計画のマイルストーンやリンク数が増えるにつれ、この方法はMicrosoft Project Serverツールだけでは管理が難しくなった。たとえば、変更されたかどうかにかかわらず、マスタープランを開くだけで、そこに含まれる他のすべてのプロジェクト計画がバックグラウンドで開かれなければならないため、ファイルの閲覧開始まで数分が要されていた。この遅延を、DESYはTPG ProjectLinkの導入で解決した。

TPG ProjectLinkは、プロジェクト管理者に循環参照のリスクを回避しながら多数のマイルストーン概要情報を提供している。

DESYでは、TPG ProjectLinkを、XFELサブプロジェクト計画からのマイルストーンを上位レベルの概要に集約するためにも使用している。これらのマイルストーンの進捗状況は、マイルストーントレンド分析を使用するXFELプロジェクトディレクターによって追跡することが可能である。

MS Project ServerとSAPシステム間のインタフェース

DESY専用プログラミングされたインタフェースを使用して、TPGはDESYでSAP-PSシステムに割り当てられた最新の原価要素のインポート機能を実装している。これにより、計画経費と実際の支出をバックグラウンドで自動的に比較することができる。

3.Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS)事例分析

1) Laboratori Nazionali del GranSasso (LNGS) の概要

グランサッソ研究所は、イタリアのローマから 120km ほど離れたところにある、L’Aquila(ラクイラ)と Teramo(テラーモ)の中間に位置するアペニン山脈の山頂下約 1,400m に設置されている研究所である。

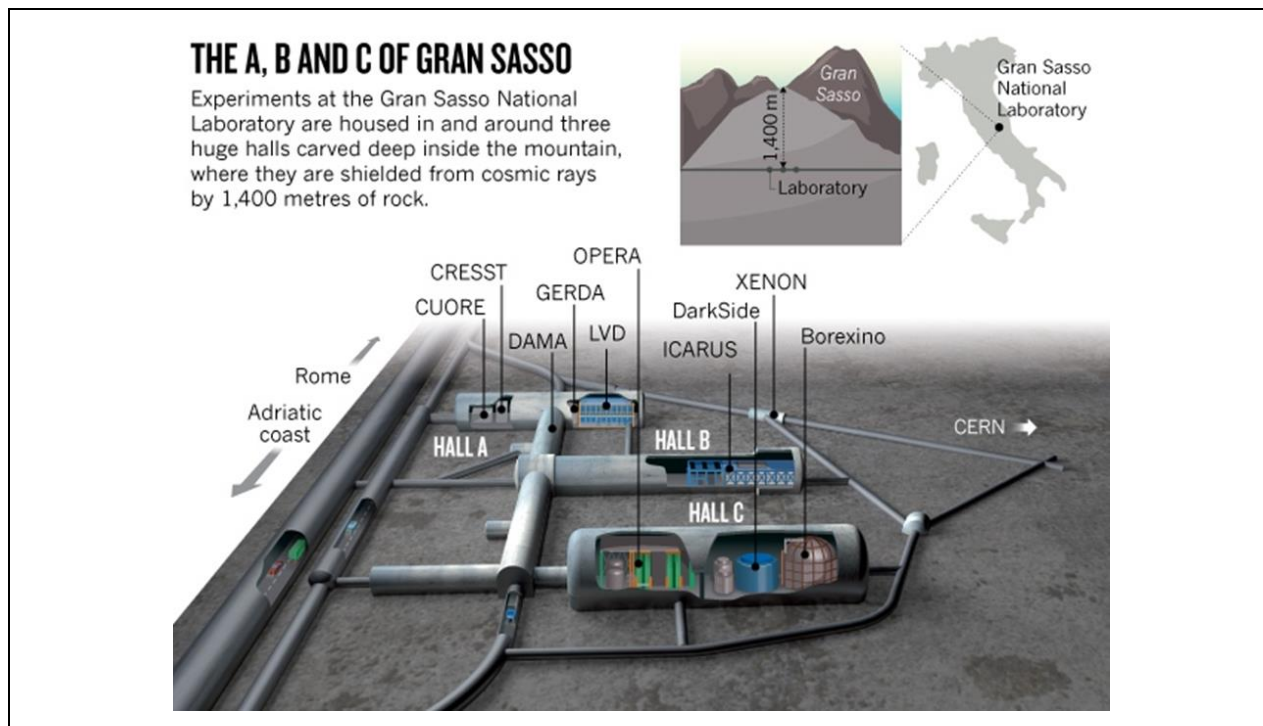
1970 年代後半に国立核物理研究所(Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; INFN)の所長 Antonino Zichichi 氏によってアペニン山脈の山塊であるグランサッソの地下に研究施設を建設する提案がなされた。1982 年にイタリア議会によって「グランサッソプロジェクト」が承認されたことで、計画がスタートし、建設がはじまった。1984 年には、全長 10km を超えるグランサッソ・トンネル(A24 Teramo-Rome Highway)が開通、このトンネルがアクセス道路として利用され、1987 年に、山塊の下に世界最大級の素粒子物理学研究施設が建設された。1989 年に、最初の実験装置である MACRO が計測を開始した。

表 47 LNGS の概要

項目	概要
建設時期	1982-1987 年
施設規模	全体;180,000 m ³ 表面積:18,000 m ²
建設費	約 1 億 6,000 万 USドル(約 374 億円) ※1ドル=234 円(1982 年当時のレート)として概算
実施主体	国立核物理研究所(Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; INFN)

出典 INFN ホームページ

図 77 LNGS の位置と施設レイアウト



出典 International weekly journal of science “nature”

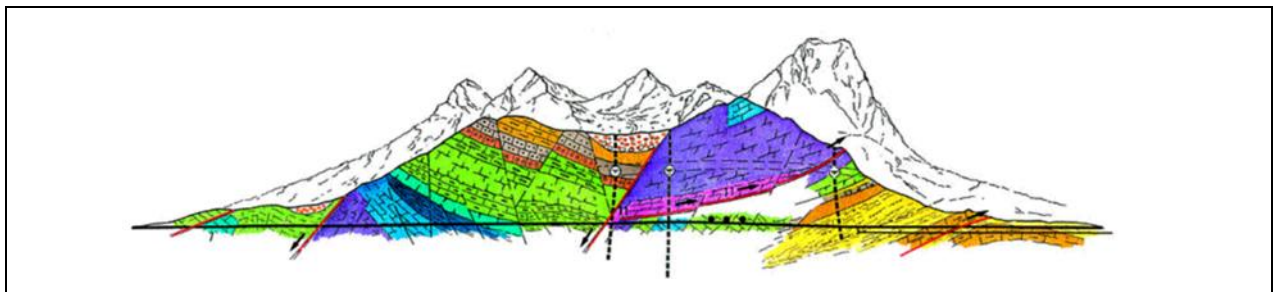
前述のとおり、地下施設は、グランサツソ山脈を横切る 10km の高速道路のトンネルの側道に入口が設けられている。そこからアクセス道路を整備したことで、車やバンによって直接アクセスできることが特徴である。このサイトが選定された背景としては、亜原子粒子の繊細な測定を行ううえで障害となるミュオンを最大限遮断できることが挙げられる。既に開通計画のあった同地域のトンネルを活用することで、岩盤深くに地下施設を建設することが可能となるとの議論が同研究機関の中で交わされ、意思決定がなされた。

実験室の発掘は 1982 年に始まり、高速道路のトンネルと連結させることで 1987 年に完成した。地下の総容積は約 180,000 m³ である。地下研究室の利用可能な総面積は、約 17,800 m² であり、それぞれ約 100×20×18m³ の広さで、補助トンネル数本でつながった 3 つの主要ホール(A、B、C)で構成されている。地表から平均 1,400m 地下にあることで、その岩石被覆率は、宇宙線フラックスの 100 万分の 1 の減少係数を $(2.87 \pm 0.03) \cdot 10^{-4} \mu / (m^2 \cdot s)$ まで減少させ、これにより、亜原子粒子の繊細な測定を行うことが可能となっている。

また、車両によるアクセス可能となっていることの利点としては、実験やメンテナンスに使用する資材をエレベータ経由により輸送する必要が無いことが挙げられる。LNGS では、巨大な検出器のコンポーネントや資材をトラックによって輸送することで効率的に地下実験施設の建設及び運用をおこなうことが可能となっている。

なお、研究者や職員が通常の執務を行う研究棟については、同施設から車両で 10 分程度の距離にあるグランサツソ山脈の地表部分に建設された。有料の高速道路がアクセス道路となっていることから、研究者には専用のパスカードが付与され、無料で研究施設にアクセスすることが可能となっており、また、地下研究施設と地上研究棟をシャトルバスが 10 分～20 分間隔で運行している。地下施設には車両の駐車可能なスペースが限られていることから、通常、研究者は地上の実験棟に車両を駐車し、シャトルバスによって地下施設にアクセスしている。

図 78 アペニン山脈とグランサツソトンネルの位置



出典 INFN

図 79 A24 Teramo-Rome Highway)と LNGS の入り口



出典 Symmetrymagazine

図 80 LNGS のトンネル建設風景と建設後の写真



出典 California Polytechnic State University Physics Department San Luis Obispo, California
Neutrino Research at Gran Sasso National Laboratory 2009 Trip Reports

2) LNGS の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

LNGS は、イタリア国内において建設されていることから、イタリアの法・規制を遵守している。LNGS 建設に際して、関連する主な法・規制は以下のとおりである。

表 48 LNGS 建設・運用時における主な関連法・規制

大分類	中分類	法・規制	法・規制(英語)
総論		Codice civile Italiano	Italian Civil Code
		Costituzione della Repubblica Italiana	Constitution of the Italian Republic
		Attuazione delle direttive 2014/23/UE,2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture. DECRETO LEGISLATIVO 18 aprile 2016, n. 50.	Implementation of the 2014/23 / EU directives, 2014/24 / EU and 2014/25 / EU on the awarding of concession contracts, on public procurement and on procurement procedures of entities operating in the water, energy, transport and postal services sectors, as well as for the reorganization of the current regulations concerning public contracts relating to works, services and supplies. LEGISLATIVE DECREE 18 April 2016, n. 50.
		Codice della Strada. Decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285	Traffic laws. Legislative Decree 30 April 1992, n. 285
	Codice di procedura civile	Code of Civil Procedure	
総論	安全	Approvazione del testo unico delle leggi di pubblica sicurezza. Regio Decreto 18 giugno 1931, n. 773	Approval of the single text of the public security laws. Royal Decree of 18 June 1931, n. 773
建設	騒音	Legge 447/95 (Legge quadro su inquinamento acustico) DPCM 1 marzo 1991	Law 447/95 (Framework Law on Noise Pollution) DPCM March 1, 1991
	水	Norme Regionali per lo scarico acque meteoriche (L.R. 17/2008)	Regional regulations for the discharge of rainwater (Law 17/2008)
	その他	Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. Decreto del Ministero delle infrastrutture 14 gennaio 2008. (NTC08)	Approval of new technical standards for buildings. Ministry of Infrastructure Decree January 14, 2008. (NTC08)
労働	一般	TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO. Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n. 81	UNIQUE TEXT ON HEALTH AND SAFETY AT WORK. Implementation of Article 1 of the Law of 3 August 2007, n. 123 concerning the protection of health and safety in the workplace. Legislative Decree 9 April 2008 n. 81

大分類	中分類	法・規制	法・規制(英語)
安全	一般	Attuazione della direttiva 2003/105/CE, che modifica la direttiva 96/82/CE, sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose. Decreto Legislativo 21 settembre 2015 n. 238 (Seveso)	Implementation of Directive 2003/105 / EC, amending Directive 96/82 / EC, on the control of major-accident hazards associated with certain hazardous substances. Legislative Decree 21 September 2015 n. 238 (Seveso)
	消防	Gestione della sicurezza Antincendio. Decreto Ministeriale 10 marzo 1998	Fire safety management. Ministerial Decree of 10 March 1998
		Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio. Decreto Ministeriale 10 marzo 2005	Fire reaction classes for construction products to be used in works for which the requirement of safety in the event of fire is prescribed. Ministerial Decree of 10 March 2005
		Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco. Decreto del Ministero dell'interno 9 marzo 2007	Fire resistance performance of buildings in activities subject to the control of the National Firefighters Corps. Decree of the Ministry of the Interior 9 March 2007
		Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione. DECRETO Ministeriale 16 febbraio 2007	Fire resistance classification of products and construction elements of construction works. DECREE Ministerial 16 February 2007
		Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'art. 49, comma 4-quarter, del D.L. 31/05/2010, n. 78, convertito, con modificazioni dalla Legge 30/07/2010 n. 22. Decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011 n. 151	Regulation simplifying the regulation of fire prevention proceedings, pursuant to art. 49, paragraph 4-quarter, of the D.L. 31/05/2010, n. 78, converted, with amendments to the Law 30/07/2010 n. 22. Decree of the President of the Republic August 1, 2011 n. 151
環境	Norme in materia ambientale. Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152	Rules on the environment. Legislative Decree 3 April 2006 n. 152	
	DPR 15 febbraio 2006, n. 147 [Prevenzione, riduzione e recupero delle emissioni delle sostanze lesive dell'ozono stratosferico da impianti e apparecchiature che le contengono]	Presidential Decree February 15th 2006, n. 147 [Prevention, reduction and recovery of emissions of substances that damage stratospheric ozone from plants and equipment containing them]	

大分類	中分類	法・規制	法・規制(英語)
放射能		Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti. Decreto Legislativo del Governo 17 marzo 1995 n. 230	Implementation of Directives 89/618 / Euratom, 90/641 / Euratom, 92/3 / Euratom and 96/29 / Euratom on ionizing radiation. Legislative Decree of the Government March 17, 1995 n. 230
調達		Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine. DECRETO LEGISLATIVO 27 gennaio 2010 , n. 17	Implementation of Directive 2006/42 / EC on machinery. LEGISLATIVE DECREE January 27, 2010, n. 17
		DIRETTIVA 94/9/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 marzo 1994 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva	DIRECTIVE 94/9 / EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 March 1994 on the approximation of the laws of the Member States relating to equipment and protection systems intended for use in potentially explosive atmospheres
		Attuazione della direttiva 97/23/CE in materia di attrezzature a pressione. DECRETO LEGISLATIVO 25 febbraio 2000, n. 93	Implementation of Directive 97/23 / EC on pressure equipment. LEGISLATIVE DECREE 25 February 2000, n. 93
		Regolamento recante norme per la messa in servizio ed utilizzazione delle attrezzature a pressione e degli insiemi di cui all'articolo 19 del decreto legislativo 25 febbraio 2000, n. 93. Decreto Ministeriale 1 dicembre 2004 n. 329	Regulation containing rules for the commissioning and use of pressure equipment and sets pursuant to Article 19 of Legislative Decree 25 February 2000, n. 93. Ministerial Decree of 1 December 2004 no. 329
化学品		REGOLAMENTO (CE) N. 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele che modifica e abroga le direttive 67/548/CEE e 1999/45/CE e che reca modifica al regolamento (CE) n. 1907/2006	REGULATION (EC) NO 1272/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on the classification, labeling and packaging of substances and mixtures that amends and repeals Directives 67/548 / EEC and 1999/45 / EC and amending Regulation (EC) 1907/2006

また、運用については、グランサツソ研究所は、EU 規制である the European Directive Seveso III (2012/18/UE)に準拠して運用がなされている。同研究所は、環境に危険な影響を与えるも物質を使用及び保存する実験が伴うことから、重大事故ハザードを有する機関として分類されている。そのため、Seveso III により、同研究所は安全管理システム(SGS)を採用することが求められ、活動や新規プロジェクト/実験を開始する前に、グランサツソ研究所及び同研究所との共同実験を行う際には、可能性のあるリスク事象の発生確率を評価し、グランサツソ研究所の関与が求められるシステムによって最高水準の安全基準を保証することが求められている。

3) LNGS の建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①LNGS の建設・運用に関するリスク事象とその対応策

以下では、LNGS の建設・運用の段階において、特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策についての整理を行う。

表 49 LNGS の建設・運用に関するリスク事象とその対応策

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
土地取得		研究施設建設にあたって、アクセスが容易で強固な地盤を有するサイトを選定する必要があった	強固な地盤を有し、高速道路トンネル整備が進められ、直接車両にて地下研究施設にアクセス可能なサイトを選定
設計	土木	地下研究施設建設のサイト検討において、既存の高速道路の地下トンネルを活用した施設整備と新たな地下掘削を伴う地下研究施設整備といった複数オプションから方針を決定する必要があった	コストや地盤状況、環境への影響、労働力の有効活用等の観点から検証が行われ、既存の高速道路の地下トンネルを活用した施設建設計画を採用
運転		実験施設から薬物が流出し、近隣都市の生活用水を汚染させた。	イタリア政府の閣僚理事会は、同施設の緊急事態を宣言。他方で LNGS は漏水対応が可能な新たな給水システムを整備した
		高速道路内のトンネル火災により交通渋滞が発生し、地下施設に研究者が閉じ込められてしまう事態が生じた	アクセストンネルを追加することを検討したが、莫大な工事費用がかかることがわかり断念。他方で、トンネル内に換気システムや照明配備を行うことで高速道路内の安全を強化。
		近隣都市を震源とする地震が発生し、多くの研究者が住居を構えていた都市が被害を受け、約 8 割の研究者・スタッフが住居を失った。	周辺ホテルの手配や地上キャンパス内に仮説住居を整備。また、柔軟な勤務スケジュールや財政的支援等により、研究者・スタッフ及びその家族をサポート。
		近隣の自然公園が国立公園として認定されたことで、国立公園に影響を与えないような環境対策が必要となった	排水等のモニタリングの強化及び公表を実施

出典 NRI 作成

②LNGS の建設・運用において特に対応が必要であったリスク事象とその対応策

[実験施設から流出した薬物による生活用水の汚染]

LNGS 建設のために掘削されたトンネル付近には大きな水脈があり、山から東へ 40 キロの場所にある Termo 氏に飲料水を供給するためのパイプが敷設されている。2002 年、ニュートリノ実験用の検出器を充填していた 2 人の米国共同研究者が強い臭いを持つ液体シンチレータであるプソイドクメン 50 キログラムをこぼし、外部に流出させてしまった。LNGS は即座に地方当局に事故を報告したが、同地域に生息していた魚が死んだことが報道で明らかになると、Termo 市民が事態を重大視し、LNGS を相手に裁判を起こした。裁判所の調査により、研究室と高速道路の排水システムには漏れがないもの、給水システムが汚染されている可能性が明らかになると、イタリア政府の閣僚理事会は、高速道路や実験室、水道システムを含むすべてのグランサッソ施設の緊急事態を宣言した。同宣言を受け、LNGS は地下における実験等の作業を全て中止することとなった。

Gran Sasso は、生活用水用の給水システムと実験室の排水システムとの分離を行うための対応を行った。具体的には、2004 年以降、LNGS は新しい排水システムとして、床の水漏れを防ぐ新しい漏水抑制井を設置した。さらに、継続的な調査や住民説明対応を実施した。このような取組みの結果、LNGS は実験を再開することができた。

[高速道路トンネル以外のアクセスルートの整備問題]

前述のとおり、LNGS では、高速道路 A24 のトンネルが唯一のアクセス道路として使用されているが、2004 年に、同トンネルにおいてトラック火災が発生したことで通行止めとなり、交通渋滞を引き起こした。交通渋滞が解消されるまで、地下にいた実験者は実験室に逃げ道がないまま避難することとなった。

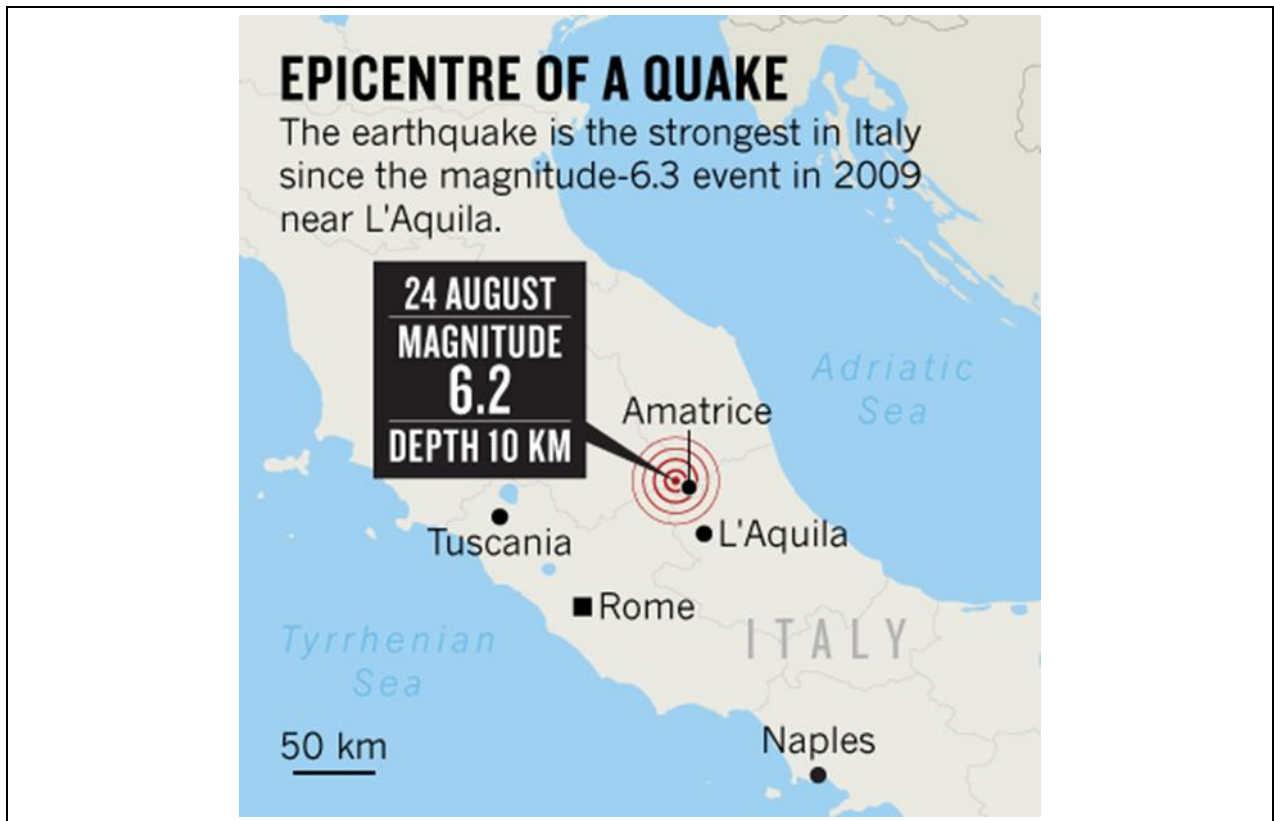
高速道路の交通渋滞等により、地下実験施設が「孤立」することは従来から問題視されており、イタリア政府は長い間、地下研究所と地上キャンパスとの間の直接ルートを整備することを検討していた。しかし、1992 年に同地区が国立公園として指定されたことによる環境団体からの反対や 2002 年に発生した水の汚染問題における対策費用の使用等の理由により資金的な余裕が無くなったことなどから、第二のアクセス経路を整備する計画は非現実的な計画となり、今に至っている。他方で、地下実験施設と高速道路内を可能な限り安全かつ環境に優しいものにすべく、第 2 の独立した換気システムを設置することにより、トンネル火災の場合の地下施設への空調ルートの整備や高速道路内の照明をより明るいものに取り替え等の対応を行った。

[研究者が多く滞在していた都市の地震被害による地域対応]

2009 年 4 月 6 日、L'aquila 市から 20 キロメートルほどのところにある Abruzzo 市でマグニチュード 6.3 の地震が発生した。LNGS においては、地下実験施設及び地上キャンパスともに大きな被害を受けず、5 月 4 日には実験が再開された。他方で、実験者やスタッフの多くが住んでいた L'aquila 市は死者が 300 人以上にのぼるなど、非常に大きな被害を受け、実験者やスタッフの約 8 割が住居を失う事態となった。LNGS は、即座に INFN と連携し、研究者やスタッフが一時的に居住できるよう近隣ホテルの手配や LNGS キャンパス内に仮説住居の設置を行った。また、彼らに対して、柔軟な勤務スケジュールや財政的支援を行い、研究室の家族をサポートした。

約一年後に彼らは地震の影響の残る L'aquila 市を離れ、LNGS から少し距離はあるが影響が軽微であった周辺都市を生活拠点とすることとなった。

図 81 2009 年の地震発生箇所と研究者が多く居住していた L'Aquila の位置



出典 nature, “Terrifying shaking’: Deadly Italian quake strikes 40 kilometres from L’Aquila”

4) LNGS の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

LNGS は、科学研究の目的と労働者や人口、環境に対するセーフガードのニーズとのバランスを確保するという、先行的かつ一般的な目的を追求している。そのような理念に基づき、彼らは、以下の事項にコミットしている。

- ・ 人々の安全対策のための重大な事故の防止
- ・ 「ゼロ傷害」の目的を追求し、リスク担当者への人員の被ばくの最小化
- ・ 法規制および最先端の安全基準の遵守
- ・ 最善の技術と最高の安全技術慣行の積極的な推進
- ・ 提案された内外の改善の実施を通じた、安全の促進における人材の支援と動機づけ。
- ・ 専門的なパフォーマンスの評価における第一の要素として、安全を管理
- ・ 安全管理システムを通じた、安全性の漸進的な改善及び検証

上記のコミットメントのもとで、LNGS では具体的に以下の取組みがなされている。

- ・ 活動の完全性を確保するためにシステムと作業手順書を使用
- ・ 明確なタスクと責任を持つ組織構造の確立
- ・ 人員の情報、形成、訓練の管理
- ・ すべての階層における、安全衛生規則の徹底した遵守
- ・ 安全性に関して、契約者と供給者の信頼性の検証・評価
- ・ 活動に伴う重大な事故の危険性を定期的に特定し、適切な予防措置を講じることによる、安全管理システムと正式手順の標準化
- ・ 安全に関する情報の記録と更新
- ・ 非定型作業の評価と認可のためのリスクアセスメント手法使用によって明確に定義されたパラメータを採用
- ・ 新しいプラントの設計と建設、及びプロセスと設備の変更がリスク評価によって裏付けられていることを確認
- ・ 業務上の異常や重大な事故が発生した場合、人員、公衆、職場、および研究室で働く者を保護することができる緊急時計画、適切な設備、訓練された人員の確保
- ・ 体系的なレビューによる緊急時計画の提出
- ・ 安全管理システムの導入、文書化、継続的な最適化
- ・ すべての組織階層によってポリシーが理解され、実施され、サポートされることの確実化
- ・ 定期的な「監査」を実施することによる、安全管理システムの評価システムの適用

安全管理において、LNGS では、Prevention & Protection Service (SPP) システムを導入している。SPP は、LNGS の所長や研究員の保護に関するイタリア勅令 the Italian Decree 81/08 および関連する法的義務を果たしている。the Italian Decree 81/08 は、職場における安全衛生に関して雇用者に対する義務について規定がなされている。これらは、あらゆる種類の活動やリスクに加えて、すべての労働者、従業員、自営業者、そして雇用主組織内で彼の活動を行う者に適用されるものである。

SPP に基づき、LNGS では、以下の取組みがなされている。

- ・ 規制や研究所の特定の知識に基づくと同時に、職場の健康と安全のために、リスクファクターの特定、リスクアセスメント、リスク分析の開発と最適化、予防的および防護的措置の定義
- ・ 研究所のすべての施設および関連する訓練プログラムにおける様々な活動のための安全手順の準備
- ・ アクセス制御と認証(スタッフ - ユーザーのオフィスと車両 - 物流管理)

- ・ 防火に携わる人々と実験の GLIMOS (安全の問題のグループリーダー) の訓練と連携
- ・ 保健医療サーベイランスにおける医師との協力、特に保健室との連携

更に、SPP では、以下のような重大な事故の危険を管理する LNGS の所長 (イタリアの法令 334/99 で規定されている "Manager of the plant") をサポートしている。

- ・ LNGS の従業員とユーザーの情報と訓練、指導に関する特定の定期訓練コースの編成
 - ・ 安全管理システム (SMS) とその手順の準備、作動、実施、更新および配信
 - ・ 内部緊急時計画 (PEI) の作成と更新、および予備軍による外部緊急時計画 (PEE) の定義への参加
- 本サービスの中には、「ラジオアイソトープ貯蔵部」があり、有資格専門家と協力して、LNGS が所持している放射性物質の貯蔵物の管理や放射性廃棄物の安全性利用等の認証を行っている。

4.SPring-8 事例分析

1) SPring-8 の概要

SPring-8 は、1991 年から日本原子力研究所(原研)と理化学研究所(理研)が共同で建設を開始し、1997 年より運転および供用を開始した大型放射光研究施設である。建設費は約 1,100 億円である。

「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」が 1994 年に可決されると、JASRI(財団法人高輝度光科学研究センター)が放射光利用研究促進機構として指定され、日本原子力研究所、理化学研究所と共に 3 者で施設計画を推進したが、効率的な運営を目的に、2005 年 10 月に日本原子力研究所が撤退し、2者運営体制に移行した。具体的には、理化学研究所が施設者として包括的運営を行っており、SPring-8 の運転・維持管理については理化学研究所から委託を受けた JASRI が行っている。また、1996 年に一部改正された「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」に基づき、登録施設利用促進機関である JASRI が利用促進業務(利用者選定業務・利用支援業務)を行っている。

この施設には、シンクロトロンに対する前置入射器としての線型加速器、電子のエネルギーを蓄積リングで運転するエネルギーまで加速するブースターの役割を果たすシンクロトロン、SPring-8 の光源となる蓄積リングが加速器として設置されている。

同施設は、光速とほぼ等しい速度まで加速された電子が磁場により進行方向を曲げられたときに生じる放射光を用いて、ナノテクノロジー、バイオテクノロジーや産業利用までに渡る幅広い研究を行うことを目的としている。

表 50 SPring-8 施設概要

項目	概要
建設時期	1991 年～1997 年
施設規模	蓄積リング棟 : 約 70,000 m ² 線型加速器棟 : 約 4,000 m ² シンクロトロン棟 : 約 2,000 m ²
建設費	1,100 億円
実施主体	日本原子力研究所, 理化学研究所, 財団法人高輝度光科学研究センター
その他施設の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 硬 X 線(300keV)から軟 X 線(170eV)までの広い波長範囲で世界最高クラスの輝度 ・ ガンマ線や赤外線利用も可能 ・ 挿入光源を最大 38 台設置可能かつ同時利用可能 ・ 25m の磁石列を有する挿入光源の設置が可能 ・ 他放射光施設には見られない実験施設(中尺ビームライン実験施設、RI 実験棟、長尺(1km)ビームライン実験施設)に導入された放射光の利用が可能 ・ 高エネルギーガンマ線専用のレーザー電子光ビームライン(LEP)を配備

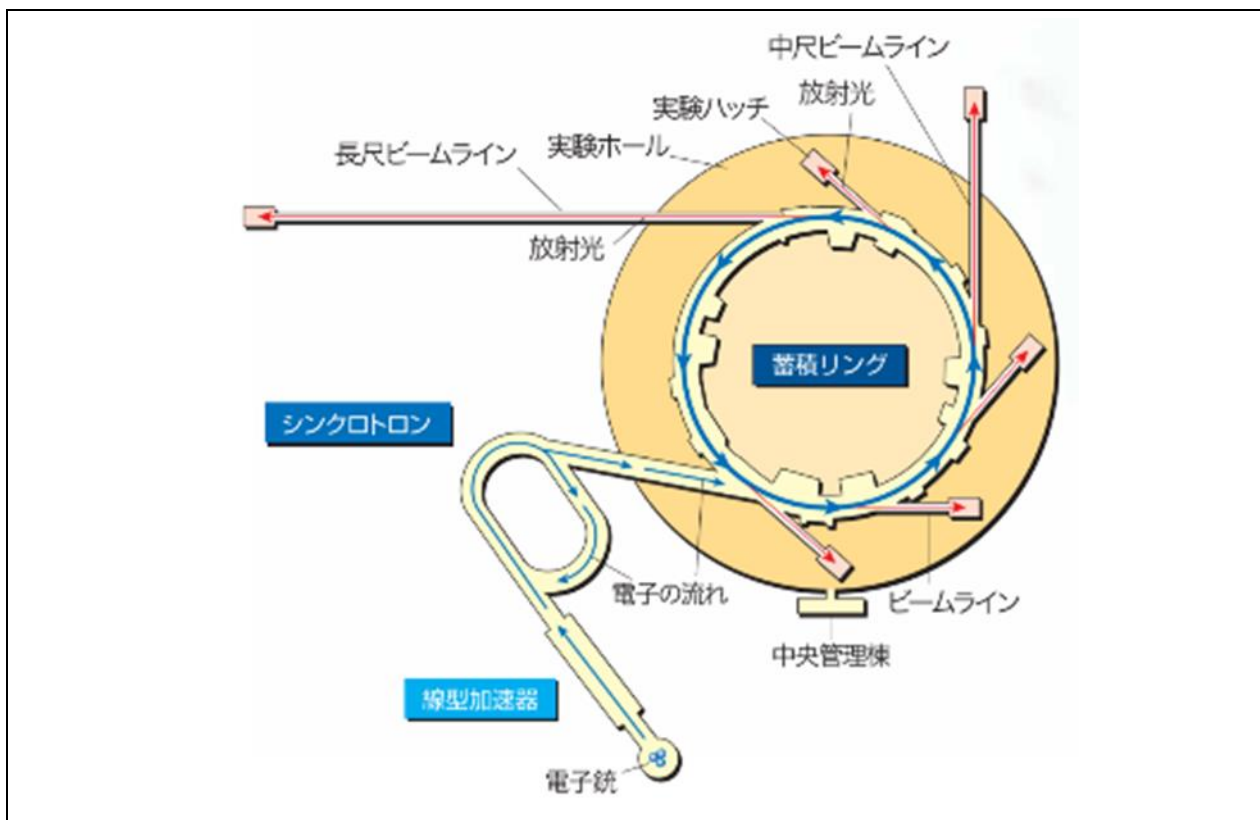
出典 SPring-8 ホームページ

図 82 SPring-8 の位置と施設写真



出典 SPring-8 ホームページ

図 83 SPring-8 の施設レイアウト



出典 SPring-8 ホームページ

表 51 SPring-8 の沿革

昭和 62 年(1987 年) 7 月	「光科学技術の高度化に関する総合的な研究開発の推進について」(諮問第 11 号)に対する答申
昭和 63 年(1988 年) 10 月	日本原子力研究所(原研)と理化学研究所(理研)が大型放射光施設研究開発共同チームを設立
平成元年(1989 年) 6 月	建設地を兵庫県播磨科学公園都市に決定
平成 2 年(1990 年) 12 月	財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)設立
平成 3 年(1991 年) 11 月	原研と理研が SPring-8 の建設工事に着手
平成 6 年(1994 年) 10 月	「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」(平成 6 年法律第 78 号)が施行され、JASRI が「放射光利用研究促進機構」に指定される
平成 8 年(1996 年) 3 月	「大型放射光施設(SPring-8)の効果的な利用・運営のあり方について」に対する答申《航空・電子等技術審議会(航電審 20 号答申)》
平成 9 年(1997 年) 3 月	放射光の発生を確認
平成 9 年(1997 年) 10 月	SPring-8 の供用を開始
平成 14 年(2002 年) 9 月	「大型放射光施設(SPring-8)に関する中間評価報告
平成 15 年(2003 年) 10 月	理化学研究所が独立行政法人化
平成 17 年(2005 年) 10 月	原研が SPring-8 の運営から離脱。理研、JASRI による 2 者体制への移行

平成 18 年(2006 年)7 月

「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」(「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」(平成 6 年法律第 78 号)の改正法)施行

平成 19 年(2007 年)3 月

JASRI が SPring-8 の利用促進業務を行う登録施設利用促進機関に選定される

平成 23 年(2011 年)3 月

JASRI を特定放射光施設(SPring-8 及び SACLA)の利用促進業務を行う登録施設利用促進機関に選定

平成 24 年(2012 年)4 月

財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)が公益財団法人に移行

出典 SPring-8 ホームページ等より作成

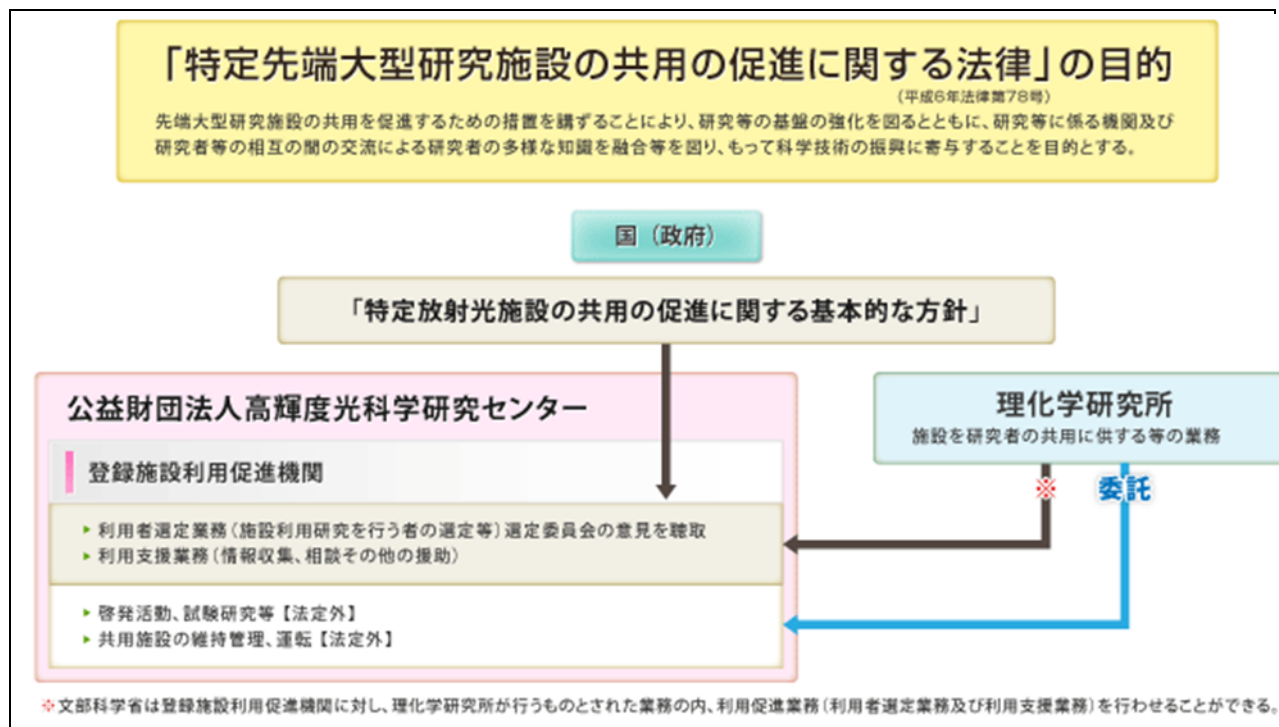
2) SPring-8 の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

SPring-8 は、同施設の共同利用に関して規定を行うことを目的として制定された 1994 年の「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」(平成 6 年法律第 78 号)に基づき運用が行われていたが、2006 年に同法が改正されたことで対応の必要が生じたことで、改正前後の運用体制が異なっている。

そもそも、科学技術庁傘下の研究所が建設する研究施設は、原則として自らの研究を推進するためのものであるが、SPring-8 は共同利用施設として国内外の研究者や産業界に開放して科学技術の振興に役立てることを計画しており、SPring-8 を共同利用に供する仕組みと条件及びその運営のあり方を定義する必要が生じていた。そこで、1994 年に「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」が制定され、同法律に基づき、文部科学大臣が「放射光利用研究促進機構」として公益財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)を指定し、それを受けて JASRI が SPring-8 の共用の促進に関する業務を行ってきた。

その後、2006 年度より開発を開始する世界最高性能の「次世代スーパーコンピュータ」といった先端的な大型研究施設が、公正かつ効率的に運用され、あらゆる分野において基礎研究から産業応用まで幅広く活用されるような措置を講ずるために、同法の改正がなされ、SPring-8 も同法に準拠した運用体制の再構築を迫られた。改正後においては、文部科学大臣の登録を受けた「登録施設利用促進機関」(登録機関)に対し、文部科学大臣が共用の促進に関する業務(利用促進業務)を行わせることとなった。なお、改正前に「放射光利用研究促進機構」として指定を受けていた JASRI については、平成 18 年度末(平成 19 年 3 月末)まで登録機関としてみなされ、利用促進業務を行っていくこととなった。

図 84 現在の Spring-8 の法的根拠と体制図



出典 SPring-8 ホームページ

表 52 利用促進業務の内容

業務分類	業務概要	内容
利用者選 定業務	施設利用研究を行う 者の選定等を行う	① 共用ビームラインを利用した研究を行う者、その者が行う研究等の課題(ここでいう課題には、題目を含めた研究等の意義、目的、内容などを含みます。)の募集・選定を行うこと ② 専用ビームラインを設置する者、設置する専用ビームラインに関する計画(ここでいう計画には、設置の意義、目的、設置方法、設置後にこれを利用して行う研究等の内容などを含みます。)の募集・選定を行うこと ※なお、登録機関は、利用者選定業務を実施するに当たっては、SPring-8 を利用した研究に関して学識経験を有する者からなる選定委員会を設置し、その委員会の意見を聞く必要がある。
利用支援 業務	施設利用研究の実 施に関し、情報の提 供、相談、援助など を行う	① SPring-8 に関する技術情報や、国内外の放射光施設で得られた研究成果等の情報を利用者等に提供すること ② SPring-8 の利用に関する応募をしようとする者に対し、必要に応じて研究等の実施計画の企画立案に対する指導等を行うこと ③ 専用ビームラインの取付工事のために必要な仕様、工事方法等について、教示・指導を行うこと ④ 選定された研究者等に対し、研究等の安全確保を含む適切な技術指導を行うこと ⑤ SPring-8 の利用者が、より円滑に効率よく研究等を行えるよう、研究手法等の改良につながる研究等を行い、その成果を利用者等に提供すること ⑥ 研究実施相談者(研究等を実施するに当たり、研究現場において技術的な指導を実施する者)の育成を図り、研究等を行う利用者の支援を行うこと ⑦ 研究等の実施により得られた結果の解析、加工などの支援を行うこと等

出典 SPring-8

①SPring-8 の建設・運用に係る法令等

SPring-8 の建設・運用に係る法令等およびその法令の概要は以下のとおり。尚、各法・規制の概要については参考資料参照のこと。

表 53 SPring-8 の建設・運用にかかる主な法・規制

分類	法・規制(制定年)
土地	地方財政再建促進特別措置法(1955年、2006年失効)
土木・建築	建築基準法(1950年)
	建築物の耐震改修の促進に関する法律(1995年)
	騒音規制法(1968年)
	振動規制法(1976年)
	火薬類取締法(1950年)
	消防法(1948年)
労働	労働基準法(1947年)
	労働安全衛生法(1972年)
	じん肺法(1960年)
	粉塵障害防止法(1979年)
環境	環境基本法(1993年)
	生物多様性基本法(2008年)
	環境影響評価法(1997年)
	公害対策基本法(1967年)
	大気汚染防止法(1968年)
	土壌汚染対策法(2002年)
	廃棄物処理法(廃棄物の処理及び清掃に関する法律、1970年)
	特定物質(温室効果ガス)排出抑制計画制度(環境庁・通商産業省告示、1989年)
	省エネ法(エネルギーの使用の合理化等に関する法律、1979年)
放射能	放射線障害防止法(1957年)
	核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律、1957年

分類	法・規制(制定年)
放射能	放射線障害防止の技術的基準に関する法律(1958年)
	原子力災害対策特別措置法(1999年)
	放射線を発散させて人の生命等に危険を生じさせる行為等の処罰に関する法律(2007年)
給排水	水道法(1957年)
	水質汚濁防止法(1970年)
	下水道法(1958年)
電気	電気事業法(1964年)
電波	電波法(1950年)
ガス	ガス事業法(1954年)
	高圧ガス保安法(1951年)
通信	電気通信事業法(1987年)
薬品	麻薬及び向精神薬取締法(1953年)
	毒物及び劇物取締法(1950年)
	化学兵器の禁止および特定物質の規制等に関する法律(1995年)
	覚醒剤取締法(1951年)
	大麻取締法(1948年)
	あへん法(1954年)
	薬事法(1948年)
生物	動物の保護及び管理に関する法律(1973年)
	特定外来生物による生態系等に係る被害防止に関する法律(2004年)
	植物防疫法(1950年)
	感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律(1998年)
	牛海綿状脳症対策特別措置法(2002年)
	遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律(2003年)
その他	特定放射光施設の共用の促進に関する法律(1994年)

出典 SPring-8、ヒアリング等より作成

SPring-8 では、タンパク質巨大分子の3次元構造解析や非結晶生体物質の小角散乱、薬剤設計、新薬開発、生物を用いた実験等の生命科学分野における実験・研究が行なわれていることから、薬品や生物関連の法・規制を遵守する必要が生じている点が特徴的である。

図 85 SPring-8 にて行われる研究例

目的	研究手段	研究対象例
原子配列・構造の解析	生体分子結晶構造解析	極微小タンパク質結晶・タンパク質複合体の原子配列
	粉末結晶構造解析	無機・有機結晶構造、電子密度分布解析
	極端条件下X線回折	高圧・高温下での原子構造、地球深部物質構造
	時分割X線回折	動的構造変化、相転移
	表面回折	表面・界面構造、表面相転移、表面化学反応
	小角散乱	タンパク質分子の溶液構造、非結晶固体・液体・融体の局所構造
	X線光子相関法	スペックル測定、不均一構造のゆらぎ
	XAFS	原子の局所構造
	歪・二次組織解析	残留応力分布、結晶方位分布
機能の解析、状態・成分の分析	光電子分光	高温超伝導体・磁性体・半導体などの電子状態
	磁気散乱・吸収	磁気物性、スピン構造
	X線共鳴散乱	軌道秩序、電荷秩序
	XAFS	触媒作用、化学反応と中間体
	X線非弾性散乱	素励起・電子状態、フォノン分散関係
	蛍光X線分析	微量元素分析、元素分布測定
	核共鳴散乱	超微細相互作用、局所フォノン密度
	軟X線発光分光	X線蛍光・ラマン散乱、電子状態
	赤外線分光	分子振動、電子状態
イメージング法による観察	屈折・位相コントラスト法	医学研究(がん、微小血管など)
	X線マイクロトモグラフィ	生体組織・工業材料の3次元観察
	X線顕微鏡	生体器官・細胞、材料・電子デバイスの観察
	蛍光X線・X線トポグラフィ	格子欠陥、二次組織、結晶成長
	コヒーレントX線回折顕微鏡	非結晶体の3次元可視化
材料の改質、新物質の創製	照射効果	内殻励起分子解離、固相成長、生物放射線効果
	光化学反応	X線CVD、超微細加工

出典 SPring-8

②SPring-8 の建設・運用において対応が求められた法・規制と対応策

以下では、SPring-8 の建設・運用の段階において、特に対応が迫られた法・規制についての整理を行う。

表 54 SPring-8 の建設・運用において対応が求められた法・規制と対応策

プロジェクトの段階	予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
土地取得	兵庫県から建設母体に対して土地の提供方法が検討されたが、地方財政法再建特別措置法に日本原子力研究所が指定機関として明記されていたことから、自治体から原研への土地の無償譲渡は不可能であった	兵庫県が理研に土地を現物出資(評価額 314 億円)したうえで、理研から原研に対して土地を無償貸与した

出典 NRI 作成

[播磨科学公園都市内の建設用地取得における規制]

[立地選定のプロセス]

1987 年 8 月に科学技術庁は、SPring-8 に関する立地選定基準について技術的に検討を行う「大型放射光施設立地選定指針検討会」を設置し、同検討会は、以降 4 回開催された。1988 年 2 月 9 日に開催された第 1 回会合では、大型放射光施設の立地指針に盛り込むべき事項を、同年 2 月 23 日に開催された第 2 回会合では、地震・地盤・放射線対策・住宅等周辺の環境等に関する立地選定条件を検討した。同年 3 月 16 日に開催された第 3 回会合で、立地選定指針の最終案が作成され、1989 年 6 月 16 日の第 4 回会合で、具体的な 4 候補地についての立地選定検討が行われた。

立地選定指針検討会第 4 回会合の検討結果を踏まえ、科学技術庁は播磨科学公園都市が立地選定指針のすべての条件に適合しているとし、SPring-8 の設置場所として決定した事を兵庫県に通知した(1986 年 6 月)。その後、原研・理研の共同チームは播磨科学公園都市内の大型放射光施設敷地の役 140ha について、兵庫県から建設母体である原研、理研への提供形態を検討した。

しかし、当時、地方公共団体が国、地方財政法再建特別措置法で定める独立行政法人、国立大学法人等、同法で定める会社等に対して、法令に根拠のない負担金や寄附金を支出することは原則として禁止されていた。原研は同法に指定機関として明記されていたため、自治体からの土地の無償譲渡は不可能であった。

一方で、理研は指定機関ではなかったため、兵庫県から 1992 年 3 月 31 日に理研に現物出資(評価額 314 億円)として土地を譲渡し、原研には、理研から同土地を無償貸与するという対応を行った。

3) SPring-8 の建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①SPring-8 の建設・運用におけるリスク事象とその対応策の概要

以下では、SPring-8 の建設・運用の段階において、特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策についての整理を行う。

表 55 SPring-8 の建設・運用において特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策のまとめ

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
設計	土木	140 ヘクタールの敷地には、強固な岩盤の「切り土」部分とその土砂で埋め立てた「盛り土」部分が存在した。	地盤変化による影響を軽減させるため、蓄積リングは全て「切り土」部分に建設するレイアウトを採用した
		設計場所に山(三原栗山)が存在したことから、それを踏まえた設計をする必要があった。また、強固な岩盤を有する三原栗山において、加速器施設を設置する下部岩盤を壊さずに、上部の岩盤を掘削しやすいよう破壊するのは相当高い技術が必要であり、大量のダイナマイトを使用する必要があった。	三原栗山も切り崩す予定であったが、経費節減のため切り崩さず、蓄積リングを三原栗山を取り巻いて設置し、リングの内側への入射器の建設を断念した
		設置場所の播磨科学公園都市は山崎断層に近く、施設に影響が生じる可能性があった。	一般的な調査に加えて常微振動測定、ボーリング調査、標準貫入試験等の特別な地盤調査を実施
建設	蓄積リング棟を切り出した岩盤上に直接建てることから地盤の影響を低減させる必要があった。	2ヵ所あった地盤の弱い破砕帯に対して盛土などの地盤改良による補強を実施	
装置	原研と理研の両法人が共同で建設を行うことから、機器やシステム等のすり合わせが必要となった。	製造設備やシステム等の標準化・規格の統一化を実施	
	当初関西 6GeV 計画(想定コスト:623 億円)を引き継いで設計がなされたが、8GeV の計画(同:約 1,050 億円)に変更することが検討された	8GeV で建設する事により、~100keV の X 線を無理なく発生することが出来るという理由を大蔵省(当時)に説明し、詳細設計及び見積もりを行ったうえで約 1,089 億円の予算承認を獲得	
建設分担	予算要求に際して、理研と原研との間で大型放射光施設の建設分担を決定しなければならなかったが二法人間だけでは決められなかった	科学技術庁が仲介役となって協議を進め、両研究所の実績や経験を考慮して、入射器(線型加速器、シンクロトロン)は原研が担当し、蓄積リングは理研が担当するという建設分担の大枠を決めた	

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
工事 建設	建築	建設資材等の輸送路に使用される一般道路において、夜間の資材輸送、輸送車両が原因の騒音等の交通障害が発生し、周辺住民から苦情が寄せられた	騒音対策として、工事時間帯を1時間短縮するとともに、輸送車両に対して速度制限を課した
装置 製造	製造	補正予算により「15ヶ月予算」として追加承認されたビームライン建設を短期間で、かつ共用運転と並行してのビームライン建設は困難が予想された	「共同チーム」による建設であったことから、事前に標準化・規格化を進めていたことで、仕様に応じた効率的な製造が可能となり納期を遵守した
運転		SPring-8 サイト内にある兵庫県立大学のニュースバル(中型放射光施設)における火災発生(入射電磁石の焼損)により、SPring-8 本体に対する影響懸念及び対策の必要が生じた。	高度産業科学技術研究所と高輝度光科学研究センターによる「原因調査委員会」の立上げ、火災原因の解明、施設復旧を実施
		台風により、建屋の屋根の一部に上部破損が発生し、雨水が浸入した	施設の運転停止期間中につき安全上の問題はなかったが、被害原因に関する調査・修繕等の対策の実施及び結果を公表(工事費用は約6億6000万円)
		実験用低温容器(クライオスタット)の中に入っている金属ベリリウム製試料容器が破損し、その破片が飛び散り、近くにいた研究者2名が負傷した	JASRI は、類似の実験用低温容器の使用者に対し、装置の緊急点検等の対策を講じさせるとともに事故調査の実施、調査結果を公表
マネ ジ メ ン ト 体 制	体制	理研と原研の二法人が共同で建設を行ったことから、二法人間の経営スタンスの違い、研究開発・建設の取り組み方の違い、発注方式の違い等により、迅速な意思決定に支障が生じた	大型放射光施設計画の推進に関する責任は両法人が分担して負うこととし、共同プロジェクトチームを設置して一体的に推進した
		科学技術庁傘下の研究所が建設する研究施設は、原則として自らの研究を推進するためのものであるが、SPring-8 は共同利用施設として国内外の研究者や産業界に開放して科学技術の振興に役立てることを計画しており、SPring-8 を共同利用に供する仕組みと条件及びその運営のあり方を定義する必要が生じていた。	「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」を制定し、同法律に基づき、共用業務及び支援業務を行う放射光利用研究促進機構として、JASRI が指定された

プロジェクト の段階	予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
マネジメント体制	「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」が改正され、維持・管理等の発注スキーム等の再考を迫られた。	改正後の同法に準拠し、これまでの指定機関制度から登録機関制度へ移行、運営・維持管理業務は一般競争入札へ移行がなされた。

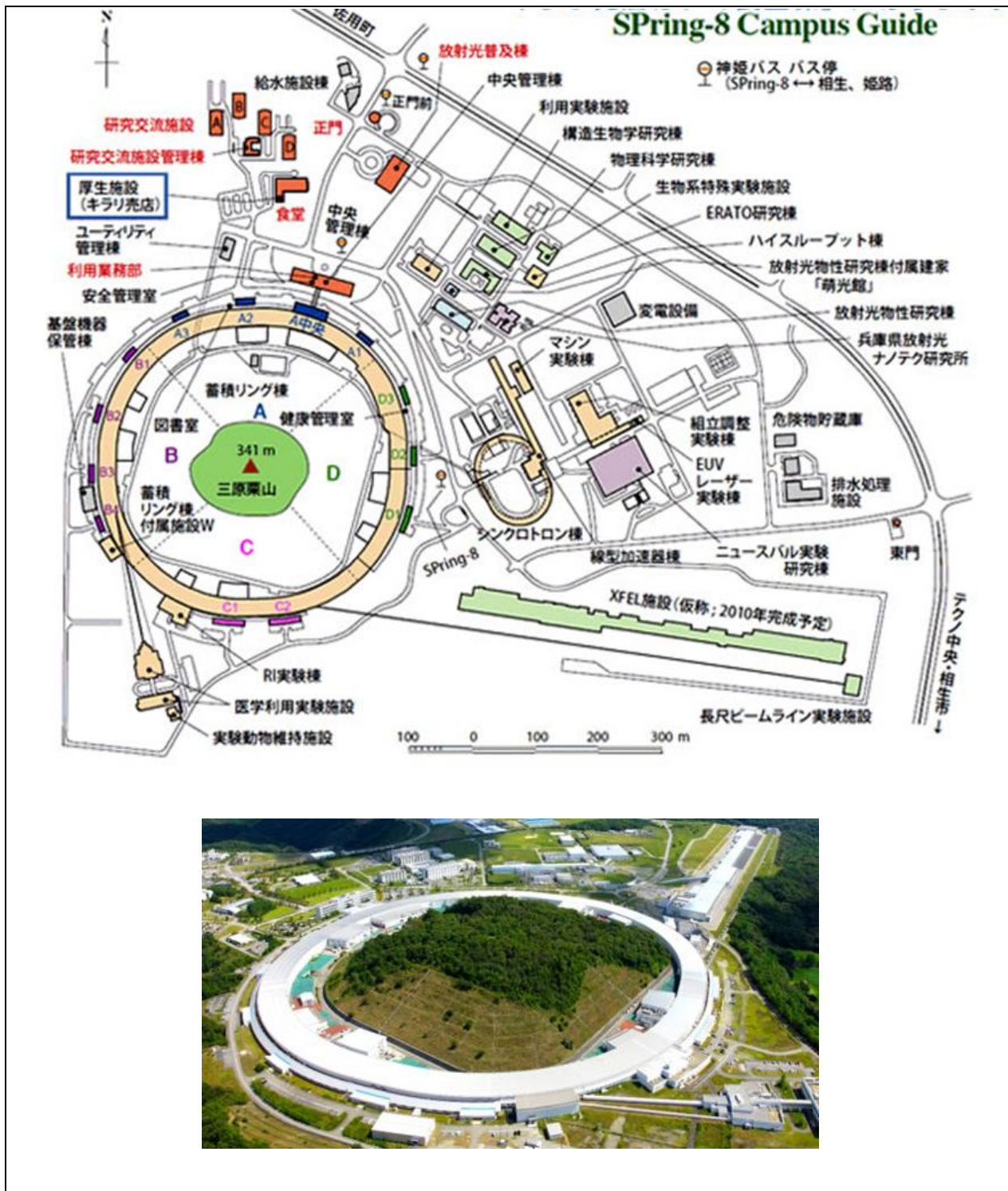
出典 NRI 作成

②SPring-8 の建設・運用において特に対処が必要であったリスク事象とその対応策

〔設置場所付近に存在した山や断層に対する対応〕

SPring-8 の建設場所として播磨科学公園都市が確定した後、施設配置計画と用地造成についての検討が始まった。SPring-8 の設置場所に標高 341m の三原栗山が存在したことから、当初三原栗山を切り崩し、蓄積リングを設置する予定であった。同地帯は強固な岩盤であることから、加速器施設の設置には非常に有利であったが、加速器施設を設置する下部岩盤を壊さずに、上部の岩盤を掘削しやすいよう破壊するのは相当高い技術が必要であり、大量のダイナマイトを使用する必要があったことから多額の費用が必要ことが判明した。そこで、山を切り崩す計画を諦め、三原栗山を取り巻くように蓄積リングを設置し、リングの内側への入射器の建設を断念することとなった。

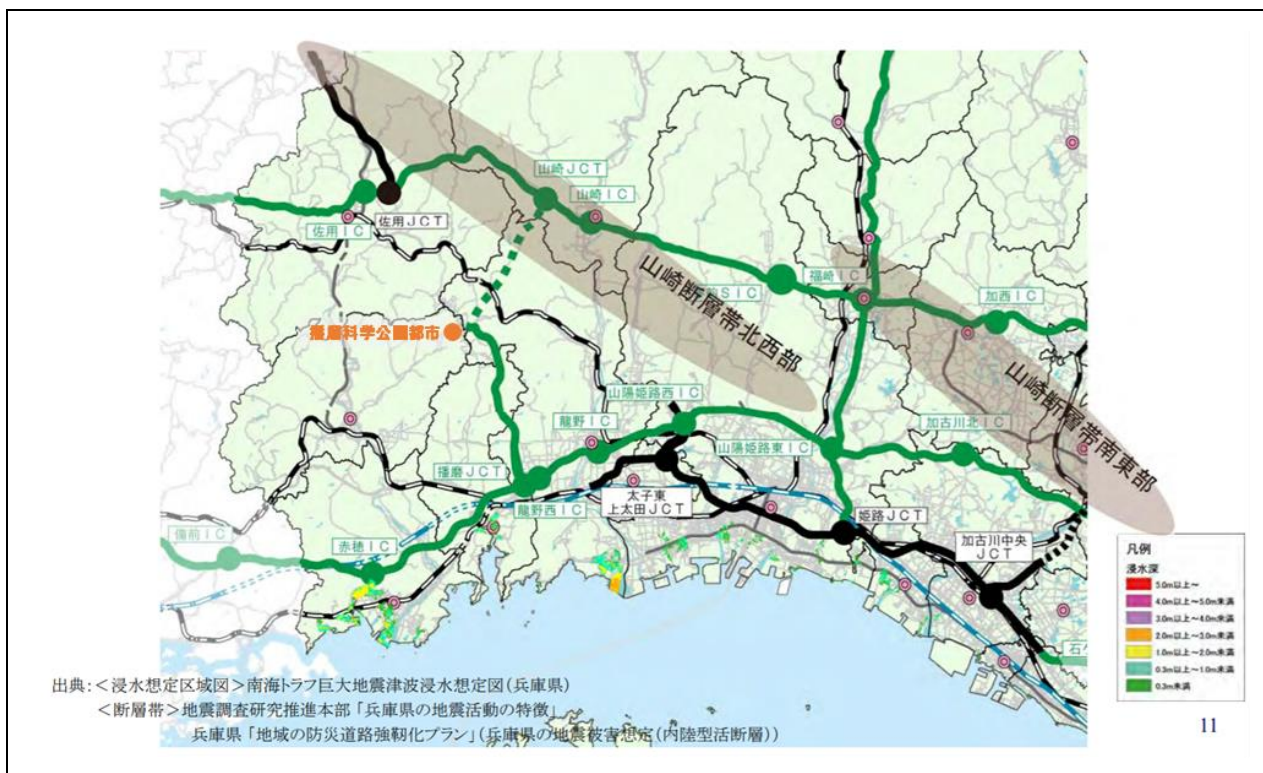
図 86 SPring-8 の蓄積リング棟と三原栗山の位置



出典 SPring-8

SPring-8の用地造成は、1989年に共同チームによって作成された配置図をもとに、1990年に開始された。同施設の設置場所である播磨科学公園都市は、山崎断層に近かったことから、南海トラフ地震等の大地震が施設に影響を与える可能性があった。そこで、通常の地盤調査に加えて、常微振動測定やボーリング調査、標準貫入試験等の地盤調査も追加的に実施された。なお、蓄積リング棟は切り出した岩盤上に直接建てる必要があったことから、蓄積リング建設箇所2カ所見つけた地盤の弱い破碎帯については盛土などによる地盤改良がなされた。

図 87 播磨科学公園都市と山崎断層の位置



出典 兵庫県等より NRI 編集

[台風**の強風による蓄積リング棟の一部破損に対する対応**]

2004年(平成16年)、台風16号(8月30日)及び台風18号(9月7日)の強風の影響により、SPring-8の蓄積リング棟の屋根の一部が上部破損する被害が発生した。台風16号により、蓄積リング棟Cゾーンの屋根の一部が破損し雨水が浸入し、台風18号によって蓄積リング棟のDゾーンの屋根の一部が破損する被害が発生した。

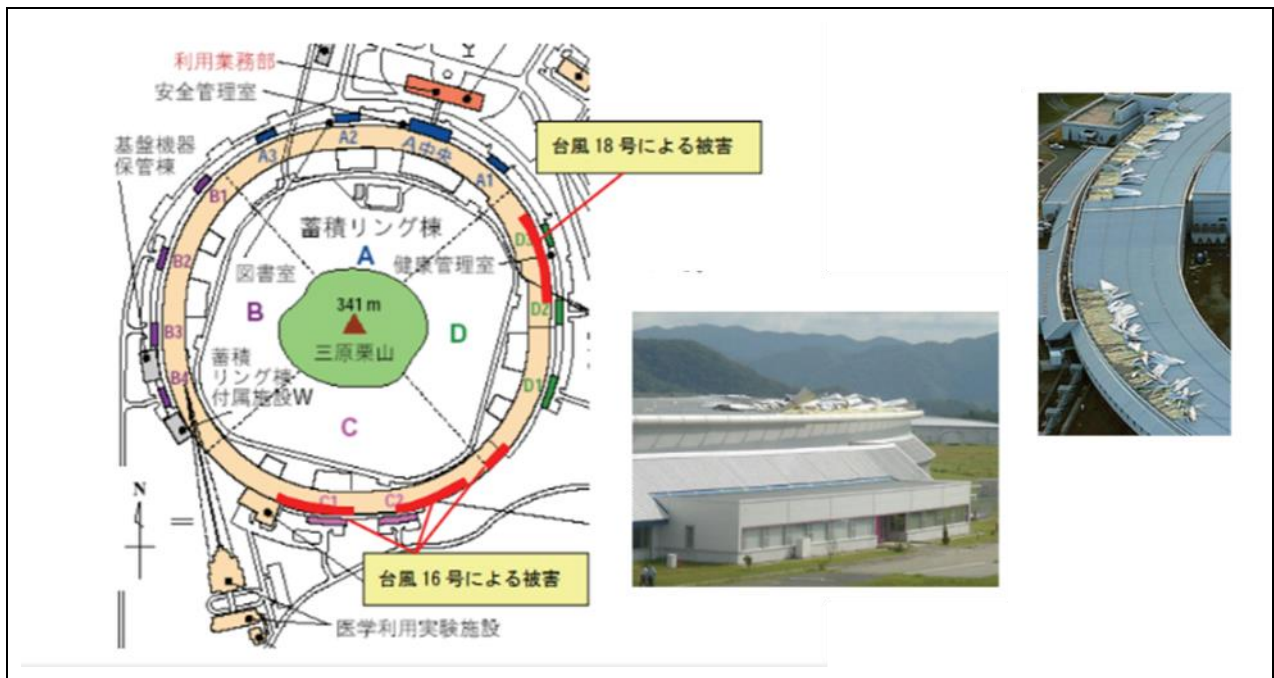
この被害をうけ、SPring-8は一時的に運転を停止し、剥離した屋根部分の応急対応をするとともに、屋根部分全域を対象とした点検作業の実施及び原因の究明等を行い、それらの結果を踏まえたうえで、年間運転計画を変更して本格的復旧工事の実施(2005年1月～8月)がなされた。原因の一つは、日照による屋根の伸縮を吸収するスライド機構に問題があり、屋根を留めるボルトに疲労が蓄積したことにより、強風に耐えられなかったと分析された。

表 56 台風による施設被害の状況

- ・ 蓄積リング棟東側の屋根一部(約 10メートル×約 120メートル)が剥離、棟内への浸水(床上 1~2cm 以下)
- ・ 運転停止期間中につき、利用者への影響はなし
- ・ なお、台風 16 号の被害箇所については、仮復旧工事を施した結果、軽微な漏水にとどまった。

出典 SPring-8

図 88 台風により被害を受けた箇所と被害状況(写真)



出典 SPring-8

[実験用低温容器破損事故の発生と社会的な反応]

2005年7月2日にSPring-8内の台湾ビームライン BL12XU で NSRRC^{*1}が水(氷)についての電子構造研究実験を行っていたが、実験終了後の後片づけ時に、実験に使っていた実験用低温容器(クライオスタット)の中に入っている金属ベリリウム製試料容器(直径44mm、高さ54mm)が破損し、その破片が飛び散り、近くにいる研究者2名(オーストラリア国籍男性、フランス国籍男性)が負傷した。なお、この時にはビームシャッターが閉じており、X線は出ていなかった。また、加速器やビームラインに対する影響はまったくなかった。

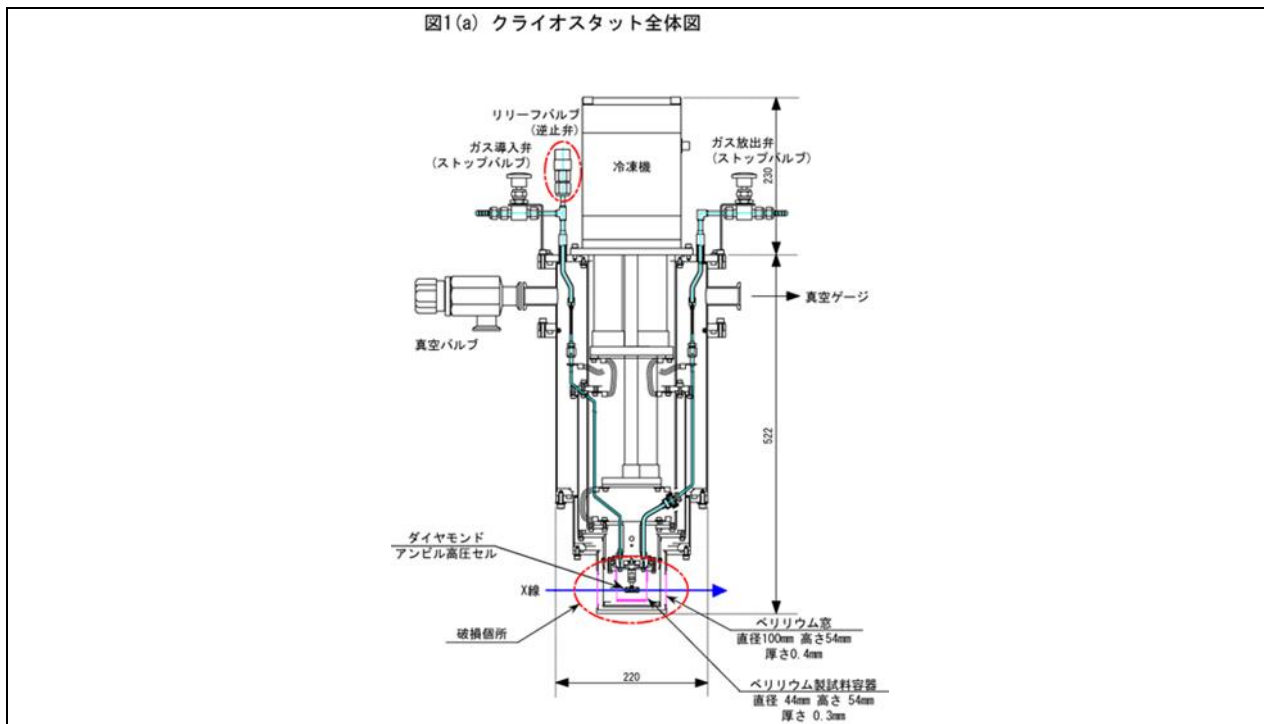
実験用低温容器破損事故に関して、JASRIは、類似の実験用低温容器の使用者に対し、装置の緊急点検等の対策を講じさせるとともに事故の調査を実施した。調査の結果、試料容器内には、容器内のガス内圧が何らかの原因により異常に上昇した際に、ガスを逃がすためのリリーフバルブが設置されている。そのリリーフバルブが、正常に働かなかったことにより、試料容器内に残留していた空気およびヘリウムが外部へ逃げられなくなり、圧力が高まって容器が破損されたと結論付けられた。

他方、救急車の手配など初動の対応を行ったものの、現場の状況や負傷者のけがの状況が緊急通報基準に該当しなかったことを理由に、対外的な連絡や外部からの問い合わせに対する対応を行わなかった結果、「SPring-8で爆発事故が発生」という報道が先行して拡散し、その後当センターは、職員の収集や関係機関への連絡を開始する形となった。事故自体は深刻なものではなかったが、メディアの報道等を受け、非常に危険な放射性施設の事故という誤った認識が拡散した。

そのような報道をうけ、JASRI は、事故の再発防止の観点から、広く利用者に周知徹底するために、技術的な視点から原因調査の結果をまとめ、ホームページにて公開する対応を講じた。

※1 NSRRC…National Synchrotron Radiation Research Center。台湾の組織で SPring-8 内に専用ビームライン BL12XU を持ち、6 名 (2005 年時点) が常駐。

図 89 破損した実験用低温容器(クライオスタット)と破損箇所



出典 SPring-8

4) SPring-8 の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

①SPring-8 建設時期における原研・理研共同チームの結成によるプロジェクトマネジメント

SPring-8 の建設は、過去の大型研究施設建設では例のない共同プロジェクトであったため、原研・理研の両研究所間で協定が締結され、「大型放射光施設計画推進共同推進チーム」(共同チーム)が結成された。共同チームにより、プロジェクトの計画立案・管理・調整などがなされた。また、両研究所の協定に基づき、各々の研究所の理事会の定める方針に従って、共同チームによるプロジェクト推進がなされた。SPring-8 に関する各種計画等の原案の作成や、それに伴う調整等が共同チームの役割であった。予算の執行等、建設に関する具体的な実際の業務については、共同チームにおける協議や調整の結果に基づき各研究所の業務処理原則のもとで、両研究所のライン組織により実行・処理がなされた。

他方、原研・理研は、建設現場における進捗状況等を把握するための工程会議を、それぞれ個別に開催した。これは、両研究所の業務の進め方や契約形態、発注形態等が異なるため、合同工程会議を開催した場合、議論の齟齬や調整の困難が生じる可能性があったためである。そうした背景から、建設現場における工程管理は、共同チームで調整・決定した事項をそれぞれの研究所が責任を持って対応するという形をとった。

本プロジェクトにおいては、原研、理研の両者間で、組織形態、予算要求方法、業務の進め方や指揮命令系統が異なっていたこと、両研究所が各種の研究開発分野におけるノウハウ等を有していること等が、予算の執行や工程管理等における両研究所の自由度の確保につながった。結果的には両研究所の自由度の確保と、共同チームによる調整というマネジメント体制が業務の効率化を促し、当初の完成予定時期よりも1年早い完成となった。

②SPring-8 運用時期におけるプロジェクトマネジメント体制

[SPring-8 の共用体制]

前述のとおり、SPring-8 では、「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」に基づき、理研と原研がSPring-8 の設置者としての業務を受持ち、放射光利用研究促進機構に指定された JASRI によって、供用業務や支援業務、運転維持管理が行われていた。同体制による運用は、経営風土の相違や SPring-8 の運営資金の3者分割等の理由から、3者間の調整に時間がかかり意思決定の迅速さに欠ける等の課題があった。

そこで、平成17年10月、原研が、核燃料サイクル開発機構と統合されて独立行政法人日本原子力研究開発機構となる機会に SPring-8 の運営から撤退することとなり、原研の業務は全て理研に引継がれることになった。この機会を捉えて、理研と JASRI の2者体制においては、SPring-8 が一層の効率性を追求していけるような運営体制の構築が必要と認識され、理研は施設所有及び運営業務委託業務を担い、JASRI は供用業務及び理研からの委託による運転管理やそれに関連する高度化研究等の業務を担うことで一体的に運営されることとなった。具体的には、理研と JASRI の責任者クラスをメンバーにして「SPring-8 運営会議」が設置されるなどして、SPring-8 に係わる意思決定の迅速化と情報交換の緻密化が図られた。

[SPring-8 の安全管理体制]

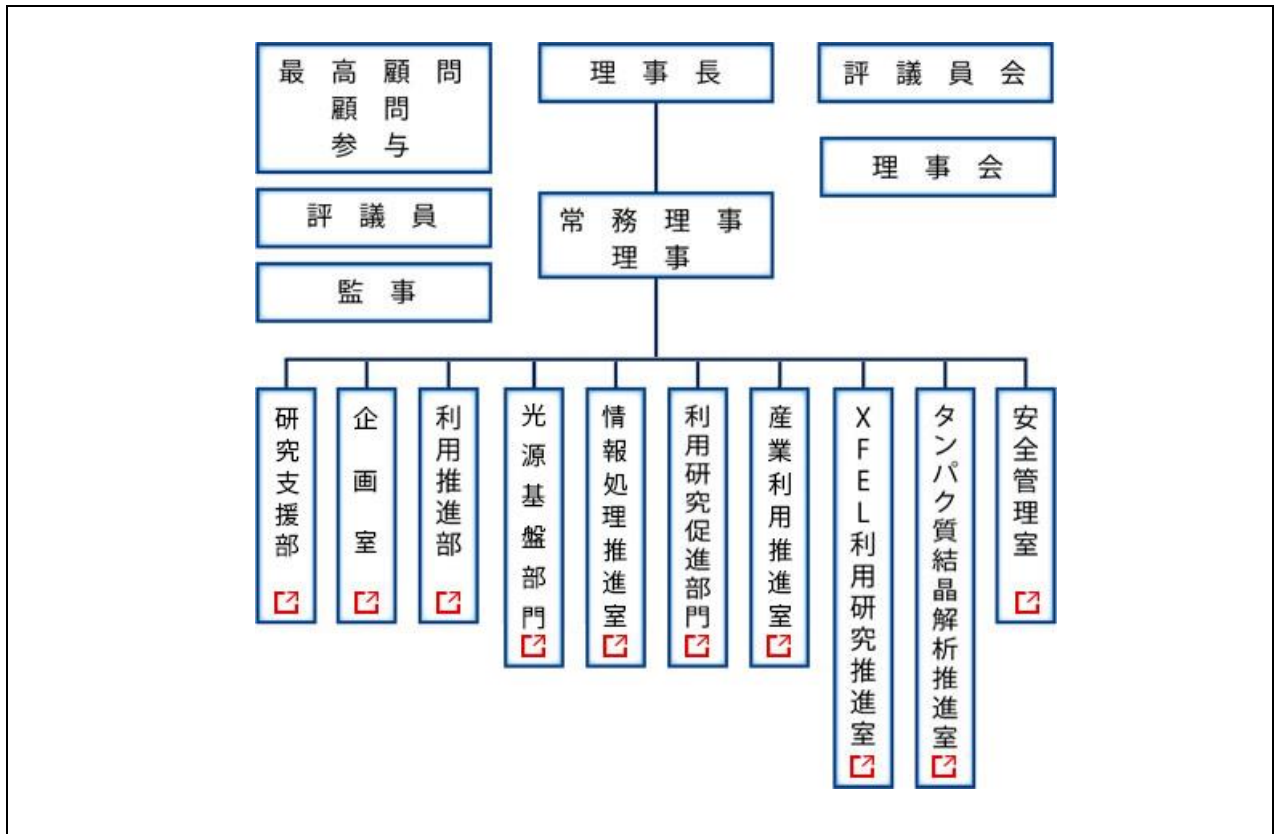
現状では、SPring-8 の維持・運転・管理の多くを理研から受託している JASRI が、安全管理でも実務における中心的役割を果たしている。従って、以下では主に JASRI が担っている安全管理を説明する。

ただし放射線安全管理の内、SPring-8 の放射線作業従事者管理及び線量測定は、スプリングエイトサービスが理研から直接受託しており、JASRI の業務には含まれていない。また原子力規制庁へ届ける施設の変更申請等は理研1者が申請者であるが、申請書類の準備などの実務は JASRI が行なっている。

JASRI が行っている安全管理業務は以下のとおりである。

- A) 放射線安全管理
 - ・ 施設の放射線安全管理・
 - ・ 放射線施設等各種申請・届出
 - ・ 放射線従事者管理
- B) 一般安全管理
 - ・ 生物安全
 - ・ 化学安全
 - ・ 高圧ガス管理
 - ・ レーザー安全
 - ・ クレーン安全
- C) 利用支援業務
 - ・ 利用課題の安全審査
 - ・ 各種安全委員会の運営
- D) 安全衛生管理
- E) 緊急時防災活動

図 90 JASRI の組織構造



出典 JASRI

また、JASRI によって設置されている委員会は以下のとおりである。動物実験等、SPring-8 における利用実験の安全に関わる委員会が設置されていることが特徴である。

図 91 JASRI によって設置されている委員会

- ・ 安全衛生委員会
- ・ 事故調査委員会
- ・ 放射線安全会議
- ・ ニュースバル放射線安全委員会
- ・ 利用実験放射線安全委員会(2015 年設置)
- ・ バイオセーフティ委員会
- ・ 動物実験委員会
- ・ 遺伝子組換え実験委員会
- ・ 高圧ガス保安会議
- ・ 化学物質専門部会(規定には残っているが、現在は実体がない)

出典 JASRI

SPring-8 における緊急時の対応は、JASRI や兵庫県立大学等のサイト内各機関が協力しつつ、理研が主体的に理研の規程に基づいて行う。緊急時対策本部は、発生した緊急事態が理研播磨事業所の定めた条件を満たすと判断される場合に設置される。同対策本部は、理研播磨事業所長を本部長とし、理研を中心に各機関の担当者により構成される。

JASRI は、理研が行う緊急時対策及び緊急時活動への支援を理研より受託している。

SPring-8 では、「SPring-8 安全の手引」として、大型放射光施設の利用者の安全に係わる具体的な事項を取り纏め、利用者やその実験グループ、周辺の実験グループの安全に対する認識を高めるための手引きを作成している。同手引きは、放射線特有の事象を取り纏めた「放射線安全の手引」と、SPring-8 を利用して実験を行う利用者の安全を確保するための基本的な考え方及び遵守事項等を取り纏めた「一般安全の手引」の2部から構成されている。(※SPring-8 建設後の初期には以下の『SPring-8 安全の手引き』が作られ、安全に関わる運用が行われていた。)

表 57 「SPring-8 安全の手引」の項目

分類	項目
放射線安全の手引	<ol style="list-style-type: none"> 1. 放射線安全管理の考え方 2. SPring-8 の放射線安全体制 3. SPring-8 の放射線管理区域 4. SPring-8 の放射線業務従事者登録と個人被曝測定 5. SPring-8 の放射線安全設備 6. 放射線管理区域の入退と管理区域内の遵守事項 7. 異常時の措置
一般安全の手引	<ol style="list-style-type: none"> 1. はじめに 2. 基本的な注意 3. 異常時、非常時の対応措置 4. 救急措置 5. 化学薬品及び有害物質の安全取扱い 6. 電気装置の安全取扱い 7. レーザーの安全取扱い 8. 高圧ガス装置・ガスの安全取扱い 9. ボイラー及び圧力容器の安全取扱い 10. 高温・低温装置の安全取扱い 11. 放射光ビームラインの安全対策 12. 災害に対する予防策(火災、爆発、地震、落雷、停電)

出典 SPring-8 「PRESENT STATUS OF SPring-8 『「SPring-8 安全の手引」について』(1997 年)」

更に、SPring-8 は、共同利用施設として、他のユーザーが安全に実験を実施できるよう、ヒヤリハット経験をもとに環境の改善にかかる対策を講じる仕組みを整備している。具体的には、平成 18 年 8 月より、ヒヤリハット事象を経験したり目撃したりした人が、手軽に報告や改善提案を投書できるように、利用業務部ユーザー受付カウンターに収集ポスト(ヒヤリハット／ご意見箱)を設置し、JASRI にて投書の内容を検討し、適切な対応をとって行く構造となっている。

5.KEK-B 事例分析

1) KEK-B の概要

KEK-B は、1998 年度に高エネルギー加速器研究機構により建設された、電子・陽電子非対称エネルギーの円形衝突加速器である。加速器の建設には 1995 年に実験が完了したトリスタン実験装置のトンネルが再利用された。建設費は 378 億円である。

1986 年に日本最初のビームコライダーである TRISTAN が完成し、 t クォーク探しの実験に入ったが、程なくして、 tt の質量は TRISTAN のエネルギー領域より遥かに大きいことが他の実験事実も合わせて明らかとなった。そこで TRISTAN 実験と並行して、小林・益川理論検証のテーマのひとつである CP 対称性の破れを測定する可能性として B ファクトリーについての検討が進められた。それが大きく前進したのは、1980 年代後半に出された非対称エネルギー B ファクトリー (KEKB、電子 8GeV+陽電子 3.5GeV) の計画であり、KEK を始め、研究者グループ、行政当局も交えた数年にわたる検討の結果、加速器トンネルを始め、TRISTAN の設備、装置を最大限有効活用するという条件で、1994 年から KEBK の建設に取り掛かることになった。その後、1998 年に KEBK が完成した。

この施設には、電子の蓄積リング (HER) と陽電子の蓄積リング (LER) が設置されており、2 本のリングが交差する 1 箇所電子と陽電子を衝突させることで、素粒子反応を引き起こすことが可能である。

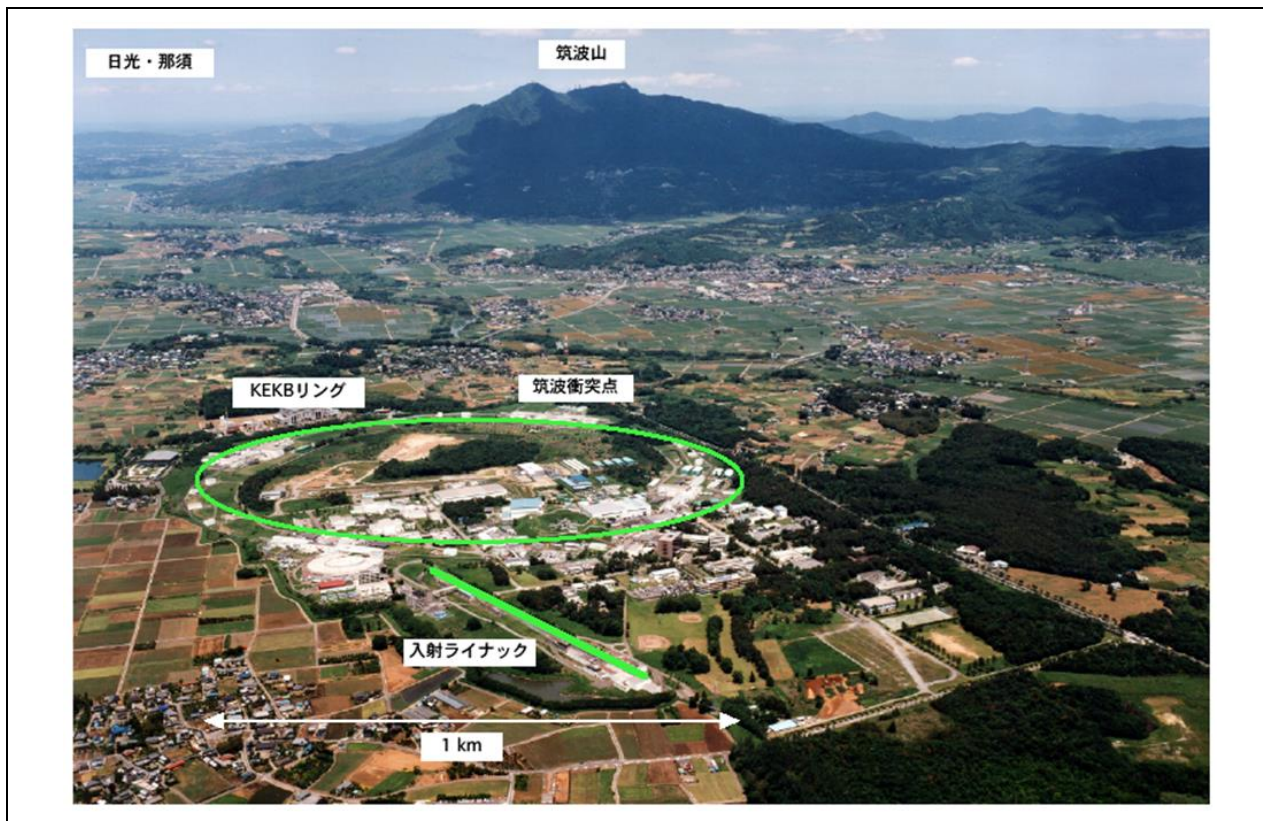
KEK-B は、計画当初は、小林・益川両博士の理論 (CP 対称性の破れに関する小林・益川理論) を証明することを主目的に設置された大型衝突加速器であり、現在では、さらなる衝突性能の向上にむけ、加速器 SuperKEKB の開発研究・運転が行われている。

表 58 KEK-B 施設概要

項目	概要
建設時期	1994 年～1998 年
施設規模・構造	電子・陽電子加速器：周長約 3km 地上から 10m 地点に設置
建設費	378 億円
実施主体	高エネルギー加速器研究機構

出典 高エネルギー加速器研究機構 ホームページ

図 92 KEKB の位置



出典 KEK

表 59 KEK-B プロジェクトの沿革

時期	概要
1981 年	TRISTAN 建設に着手
1986 年	TRISTAN 完成
1989 年	加速器設計作業に着手
1994 年	予算が認められ、設計・建設に着手
1995 年	デザインレポート完成
1997 年 9 月	入射用線形加速器の増強作業完成
1998 年 12 月	電子リング(HER)運転開始
1999 年 1 月	陽電子リング(LER)運転開始
1999 年 5 月	Belle 測定器を加速器内に設置
1999 年 6 月	Belle 測定器により、最初の素粒子反応確認
2001 年 4 月	当時の最高ルミノシティ $3.4 \times 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に到達
2002 年 10 月	世界最高積分ルミノシティ 100 /nb を蓄積
2003 年 5 月	設計ルミノシティ $1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に到達
2006 年初頭	クラブ空洞を KEKB 加速器に設置

出典 KEK

2) KEK-B の建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

①KEK-B の建設・運用に係る法令等

KEKB の建設・運用主体である高エネルギー物理学研究所(当時、1997 年からは高エネルギー加速器研究機構)は、平成 16 年(2004 年)に国立大学法人法のもとで大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構として法人化された。これにより、労働安全衛生法等、同法人格に適用される法・規制を遵守する必要が生じた。

表 60 KEK の沿革

時期	概要
1954 年	原子核研究所設立準備委員会 発足
1955 年	東京大学 原子核研究所 設立
1964 年	素粒子研究所準備室設置
1971 年	高エネルギー物理学研究所 設置
1997 年	高エネルギー加速器研究機構へ改組
2004 年	大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構として法人化

出典 KEK

KEK-B の建設・運用に係る法令等およびその法令の概要は以下のとおり。前述のとおり、2007 年の法人化により、労働安全衛生法等を遵守する必要が生じた。

表 61 KEK-B の建設・運用にかかる主な法・規制

分類	法・規制(制定年)
土木・建築	建築基準法(1950 年)
	建築物の耐震改修の促進に関する法律(1995 年)
	騒音規制法(1968 年)
	振動規制法(1976 年)
	消防法(1948 年)
	労働安全衛生法(1972 年)
	じん肺法(1960 年)
	粉塵障害防止法(1979 年)
環境	環境基本法(1993 年)
	生物多様性基本法(2008 年)
	環境影響評価法(1997 年)
	公害対策基本法(1967 年)
	大気汚染防止法(1968 年)
	土壌汚染対策法(2002 年)
	廃棄物処理法(廃棄物の処理及び清掃に関する法律、1970 年)
	特定物質(温室効果ガス)排出抑制計画制度(環境庁・通商産業省告示、1989 年)
	省エネ法(エネルギーの使用の合理化等に関する法律、1979 年)

分類	法・規制(制定年)
放射能	放射線障害防止法(1957年)
	核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律、1957年
	放射線障害防止の技術的基準に関する法律(1958年)
	原子力災害対策特別措置法(1999年)
	放射線を発散させて人の生命等に危険を生じさせる行為等の処罰に関する法律(2007年)
給排水	水道法(1957年)
	水質汚濁防止法(1970年)
	下水道法(1958年)
電気	電気事業法(1964年)
電波	電波法(1950年)
ガス	ガス事業法(1954年)
	高圧ガス保安法(1951年)
通信	電気通信事業法(1987年)

出典 KEKヒアリングより NRI 作成

②KEK-B の建設・運用において対応が求められた法・規制と対応策

以下では、KEK-B の建設・運用の段階において、特に対応が迫られた法・規制についての整理を行う。

表 62 KEK-B の建設・運用にかかる主な法・規制

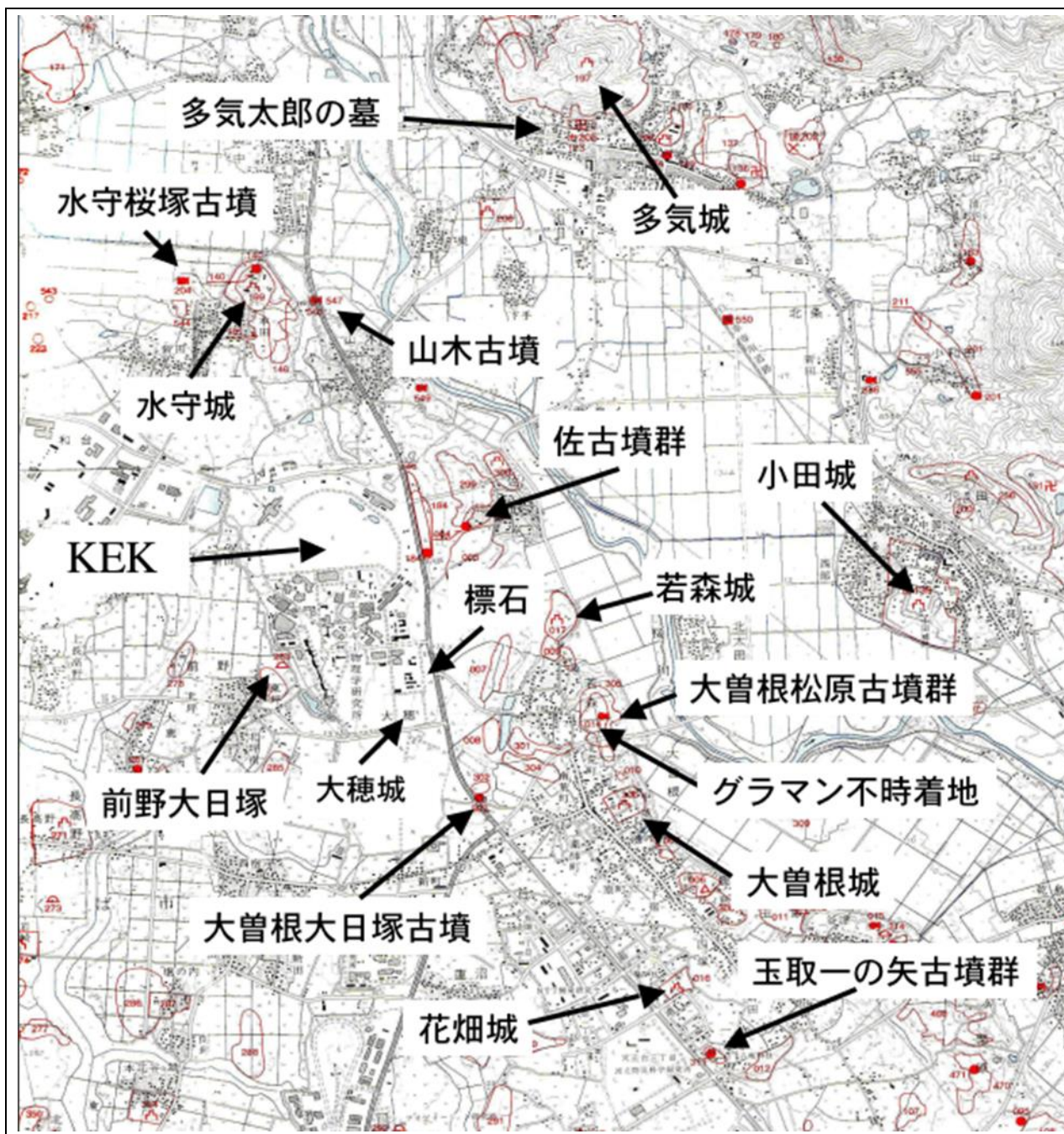
プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
設計	土木	KEK の周辺には旧跡が点在している。	文化財保護法に基づき、埋蔵文化財保護に必要な手続きを経て、設計・建設が行われた。
マネジメント	体制	2004年に大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構として法人化されたことで、法人格としての規制に遵守すべき事項が生じた	労働安全衛生法をはじめ、法人に適用される法律を遵守

出典 NRI 作成

[埋蔵文化財の保護にかかる規制]

KEK の周辺には旧跡が点在していることから、文化財保護法に基づき、埋蔵文化財保護に必要な手続きを経て、設計・建設が行われた。

図 93 KEK 周辺の旧跡



出典 KEK

[環境に関する規制(KEK HP より)]

前述のとおり、2004 年度からの機構の法人化に伴い、これまで適用されていた人事院規則に代わり労働安全衛生法が適用されることとなり、化学物質等の取り扱いに関し厳格な管理が求められるようになった。特に、有機溶剤(アセトンやアルコール類など)や特定化学物質(フッ化水素酸など)を取り扱う屋内作業場においては、有資格者(作業環境測定士)による空気中の化学物質濃度の測定、排気設備の設置および定期検査、作業者に対する健康診断など多くの事項が義務づけられている。

また、毒物及び劇物取締法、消防法、PRTR(環境汚染物質排出移動登録)制度などに対応するためには、機構内における化学物質の入手・保管・使用・廃棄などの情報を集中して管理する必要がある。これらの状況に的確に対応するため、2004 年 4 月、機構全体の化学物質に関わる総合的な安全管理を行う実

務組織として、放射線科学センター長の下に「環境安全管理室」が設置された。

同管理室において、従来、放射線科学センター環境計測部門が行っていた排水管理、廃液処理、化学薬品管理等の化学安全管理業務に加え、作業環境管理、環境安全管理に関する業務についても行うことになった。

その後、環境配慮促進法(環境情報の提供の促進等による特定事業者等の環境に配慮した事業活動の促進に関する法律)の施行により、本機構においても環境報告書の作成が義務付けられ、よりいっそうの環境管理が求められるようになり、2007年4月には、「環境安全管理室」は機構長の下に置かれる室として位置付けられることになった。

3) KEK-B の建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①KEK-B の建設・運用に関するリスク事象とその対応策

以下では、KEK-B の建設・運用において、特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策についての整理を行う。

表 63 KEK-B の建設・運用において特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策のまとめ

プロジェクトの段階	予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
事前調査	事前調査におけるトンネル掘削時に地下水を汲み上げたことで周辺住民の生活用水の供給に影響が出た	専門家や工事現場担当者から構成されるワーキングチームを設立し、対応にあたった
工事建設 (*)	関東ローム層であり非常に軟らかい土壌に対して支柱の強度を保つ必要があった	実験ホールにおいて最低 30m 程度のパイルを岩盤に直接打って対応した。
運転	2011 年に運転中の加速器試験装置の電源装置から出火した事故があった	火災のあった電源モジュールの設置場所は、加速器トンネル外で、火災の発生と同時に装置の運転は停止していたことから問題とならなかった
	震災により実験棟の曲線部の接合部分へのずれやトンネル内の地下水漏水等が生じた	早急に施設の損害状況及び原因特定のための調査を実施し、また、周辺地域・住民の心配を考慮し、被害状況を公表する対応を採った。その上で、迅速な復旧工事を行った。
仕組み	2013 年に KEK が運用している J-PARC において放射能漏洩事故が発生した際に KEK の他施設に対しても安全対策強化の動きが広がり、対応をする必要が生じた	J-PARC に導入された労働安全コンサルタントによる調査が KEK-B に対しても試験導入された

出典 NRI 作成

(*) 事前調査、工事建設、建築は TRISTAN について

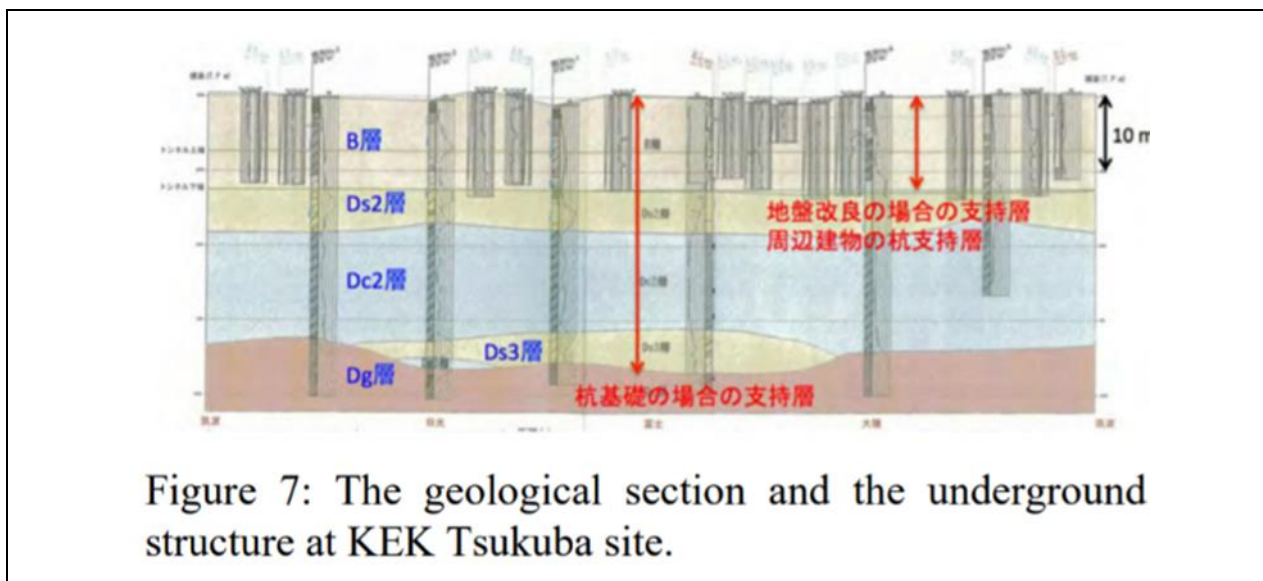
②KEK-B の建設・運用において特に対処が必要であったリスク事象とその対応策

[KEK つくばキャンパス内の地盤構造を踏まえた対応]

KEKB の建設予定地である KEK つくばキャンパスの敷地は、関東ローム層であり非常に軟らかい土壌であった。そのため、支柱の強度を保つ必要があった。「KEK 放射光計画における建物・設備の検討状況(芳賀開一, 中村典雄, 多田野幹人, 小山篤, 豊島章雄, 松岡亜衣, 五十嵐教之)」によると、「KEK つくばキャンパス内のボーリングデータを見ると、当該敷地の地盤層序は表層 12~13m 程度の埋土層の下に N 値の高い成田層砂層(Ds2 層)が出現するがその層厚は 5m 程度であり、その下には N 値の低い成田層粘性土層(Dc2 層)が 20m 程度堆積する。N 値が 50 程度で安定した下総層群下部礫質土(Dg 層)は、地表から 35m 程度より下部で出現する。」とのことである。このようなつくばキャンパスの地盤構成を踏まえ、KEKB

の施設建設においては、最低 30m 程度の杭 (パイル) を打つ工事を実施することで対応がなされた。

図 94 KEK つくばキャンパスの地盤構造



出典「KEK 放射光計画における建物・設備の検討状況 (芳賀開一, 中村典雄, 多田野幹人, 小山篤, 豊島章雄, 松岡亜衣, 五十嵐教之)」

[東日本大震災における施設損害]

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の影響により、施設に損害が生じた。KEK は、早急に施設の損害状況及び原因特定のための調査を実施し、また、周辺地域・住民の心配を考慮し、被害状況を公表する対応を採った。

被害状況について、人的被害、建屋の崩壊等致命的な被害はなかったが地下部、地上部それぞれにおいて被害が生じており、特に KEKB 主リングでの被害がエキスパンションジョイントに集中したことが特徴的である。具体的には、地下部においては、実験棟や直線部は岩盤にくいを打っていたことで比較的頑丈であるが、曲線部は 60m おきにエキスパンションジョイントが設けられている構造であり、耐震強度が弱かったことから、接合部分に最大 4mm のずれが生じた。また、エキスパンションジョイント部において地下水の漏水や床面の盛り等被害が発生した。また、地上部では、各種設備の被害があった。

なお、震災当時は施設の高度化工事中だったため、ビームパイプ等はすでに大気開放されていた区間が多く、揺れによる破損等の被害はあったが、真空が急激に破れることによる被害の拡大には至らなかった。

図 95 KEK つくばキャンパスにおける被災施設



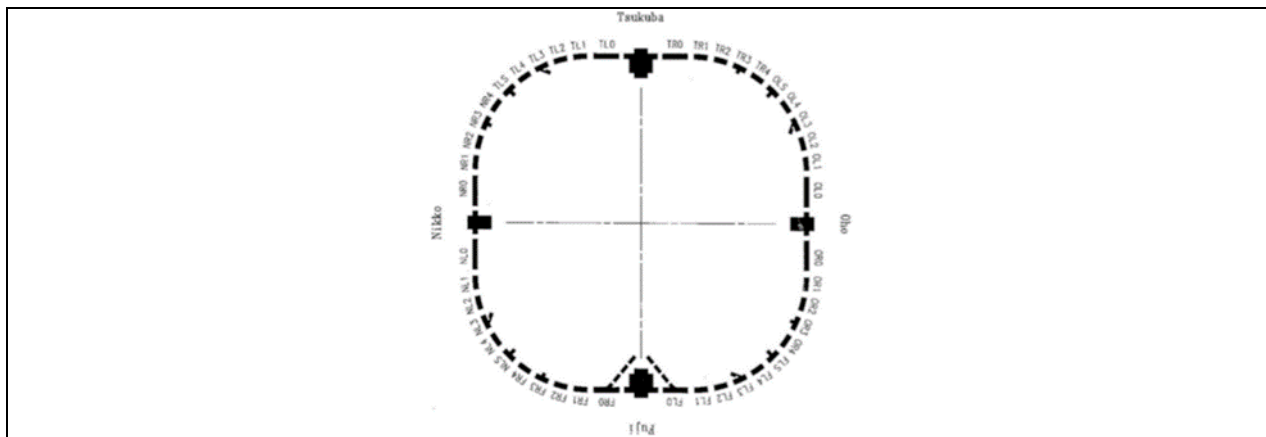
出典「東日本大震災(3.11) 被害状況(概要)(KEK)」

図 96 地震により被害をうけた施設例(左からエキスパンションジョイントにかかる電磁石ベースプレート、エキスパンションジョイント(漏水、床面盛り)



出典「東日本震災のKEKBトンネルへの影響について(増澤美佳、飯沼裕美、大沢康伸、川本崇、菅原龍平(KEK))」

図 97 KEKBトンネルの構造



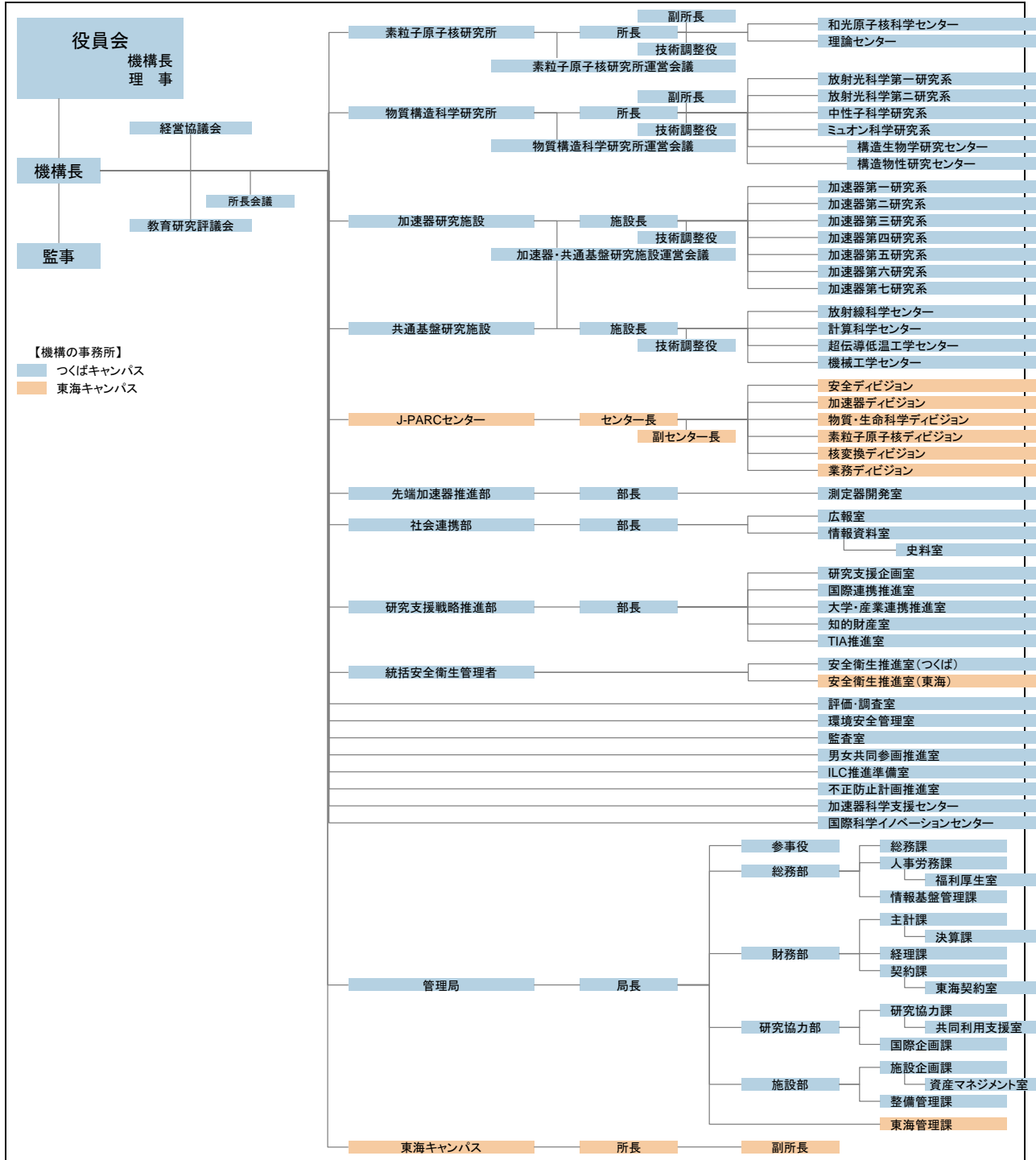
出典「東日本震災のKEKBトンネルへの影響について(増澤美佳、飯沼裕美、大沢康伸、川本崇、菅原龍平(KEK))」

4) KEK-B の建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

①KEK のプロジェクトマネジメント体制の推移

KEK-B の建設・運用主体である KEK は、2007 年の法人化により、それまでの 20 近い大学共同利用機関から4つの機構に再編され、その機構が大学共同利用機関を設置するという形態に変わった。各機構や機構が設置した大学共同利用機関の運営は、大学と深くかかわっているため、機関自身の研究の方向性や人事等にいたるまで、大学の関係者を中心とした広い分野の専門家を含めた会議で決定される仕組みとなっている。

図 98 KEK の組織構造



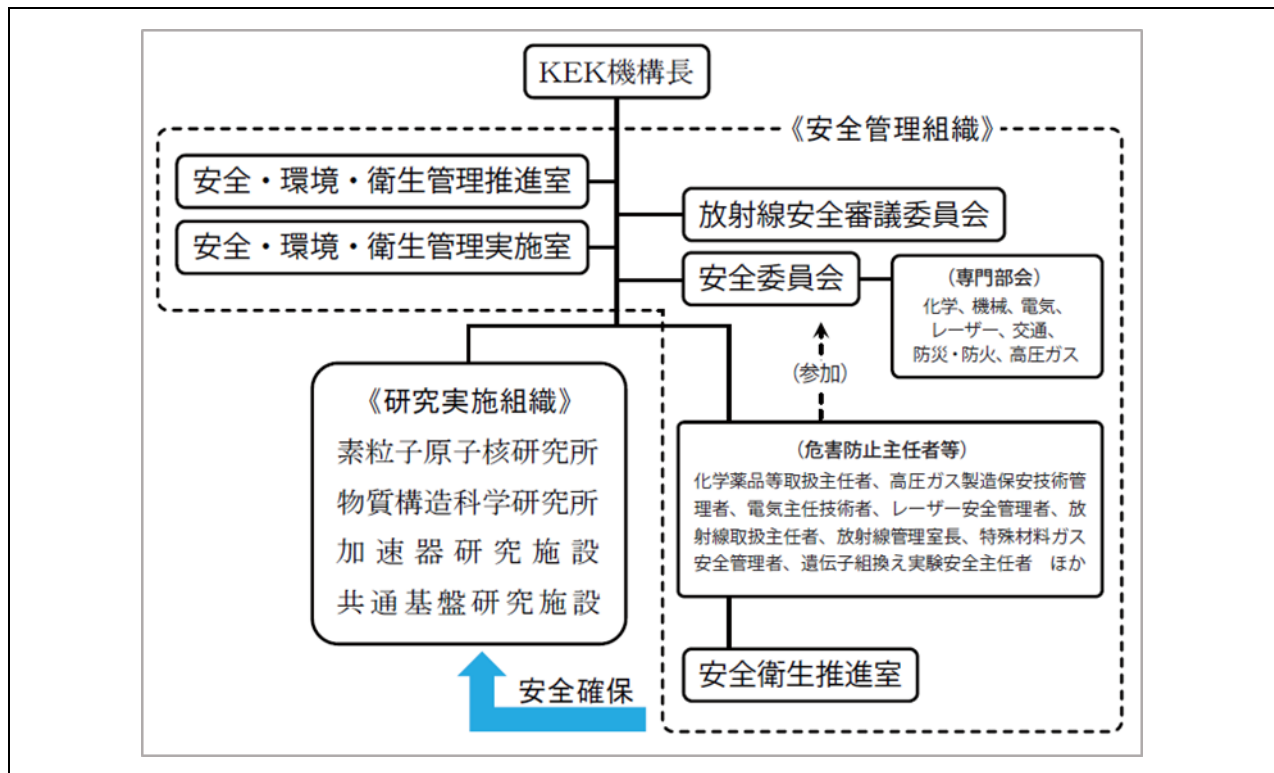
出典 高エネルギー加速器研究機構よりNRI 編集

②KEK の安全管理体制

KEK は、KEK-B の運転に伴い放射線を発生する高エネルギー加速器等を中心とした実験施設における安全管理体制を構築している。具体的には、機構長のもとに、安全・環境・衛生管理推進室、安全・環境・衛生管理実施室、安全委員会、放射線安全審議委員会等が設置されている。安全委員会は、化学、機械、電気、レーザー、交通。防災火災、高圧ガスの 7 つの専門部会を設け、専門的な調査や実験室等の安全視察、実験装置の安全審査を行っている。

また、KEK の各設備に対しては、産業医と衛生管理者が法定の巡視点検を行うだけでなく、研究所や研究施設が職員から抽出した点検者も毎月独自に自主点検を実施している。両者の点検結果は、毎月の衛生委員会で報告されるとともに、機構内に開示されている。更に、安全関係の情報をまとめたポケットブックや、想定される危険事例および過去に起きたヒヤリハット事例をまとめたポケットブックを、職員、共同利用研究者、関連事業者等に配布し安全意識の向上に努めている。

図 99 KEK の安全管理体制



出典 高エネルギー加速器研究機構 公開資料

6. 東京湾アクアライン事例分析

1) 東京湾アクアラインの概要

東京湾アクアラインは東京湾の中央部を横断し、千葉県の木更津と神奈川県の川崎を結ぶ全長 15.1km の自動車専用の有料道路(1997 年 12 月開通)である。木更津から約 4.4km は橋梁構造、川崎から約 9.5km はトンネル構造となっている。橋梁とトンネルの接合部に海ほたる(木更津人工島)があり、トンネルの中央部に風の塔(川崎人工島)がある。

1986 年に制定された「東京湾横断道路の建設に関する特別措置法」に基づき、日本道路公団・地方公共団体および民間企業が各々 300 億円を出資した第三セクターである東京湾横断道路(株)と、日本道路公団によって東京湾アクアラインは建設された。海上部の約 14.3km を東京湾横断道路(株)が建設し、日本道路公団が、陸上部の建設(川崎側約 0.3km・木更津側約 0.6km)のほか、事業調整・用地買収等を担当した。

総事業費は、当初事業許可(昭和 62 年 7 月)時点では約 1 兆 1,500 億円だったが、供用時計画(平成 9 年 3 月)時点では 1 兆 4,400 億円(建設費に建設期間中の利子を含む)とされた。

表 64 東京湾アクアライン施設概要

項目	概要
調査・建設時期	調査：1966 年～1986 年 工事：1987 年～1997 年
施設規模	区間：川崎市川崎区浮島長地先から木更津市中島 延長：15.1km
総事業費	1 兆 4,400 億円
実施主体	東京湾横断道路株式会社，日本道路公団

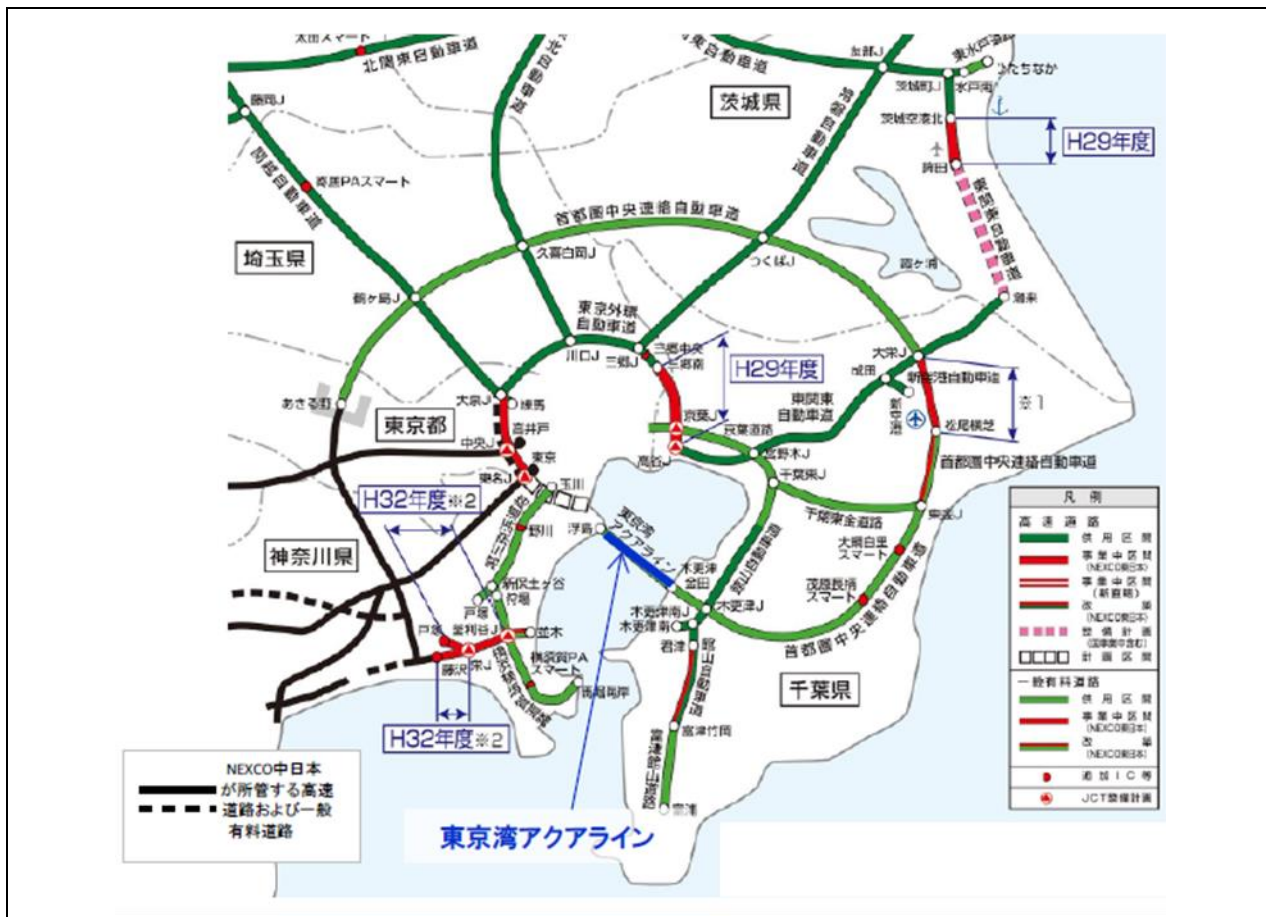
出典 千葉県ホームページ，海ほたるホームページ

表 65 開通までの主な経過

時期	概要
昭和 41 年(1966 年) 4 月	建設省が調査を開始
昭和 51 年(1976 年) 8 月	日本道路公団が調査を引き継ぐ
昭和 61 年(1986 年) 4 月	「東京湾横断道路の建設に関する特別措置法」成立、 東京湾横断道路(株)の設立
平成 元年(1989 年) 5 月	起工式
平成 9 年(1997 年) 4 月	トンネル貫通式
平成 9 年(1997 年) 12 月	開通式

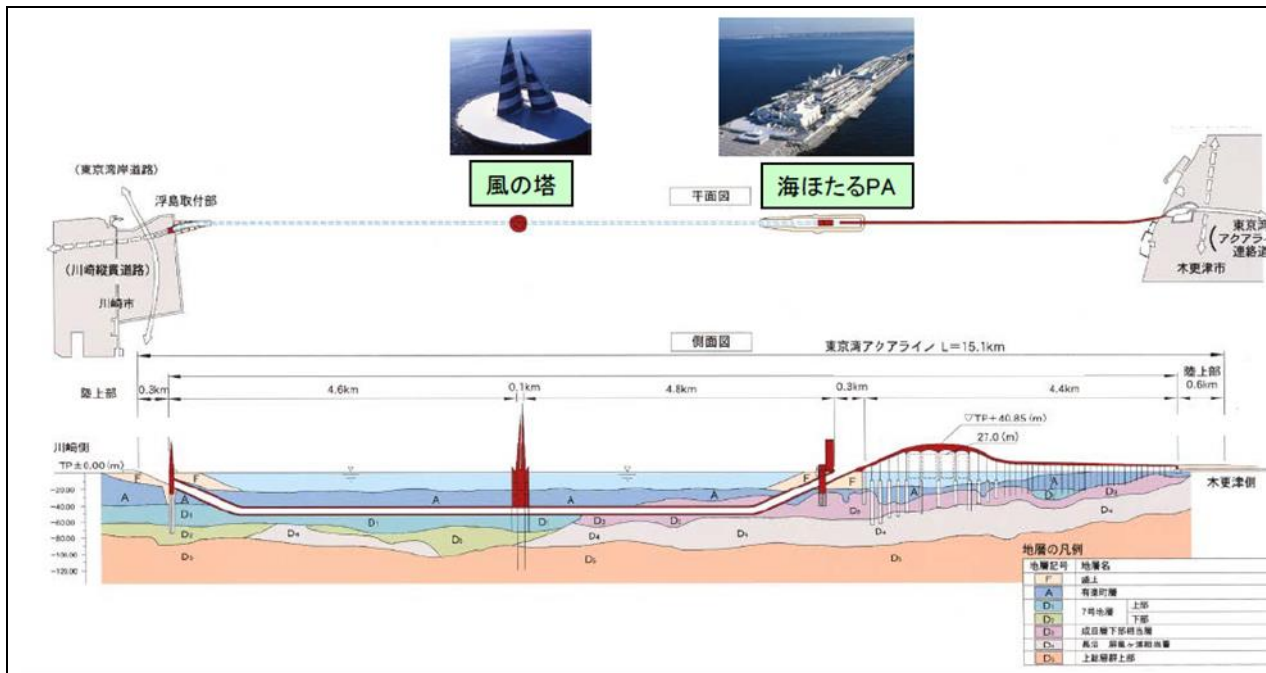
出典 東日本高速道路(株) 平成 29 年 8 月 2 日 東日本高速道路(株) 定例記者会見 資料 2-1

図 100 アクアラインの位置



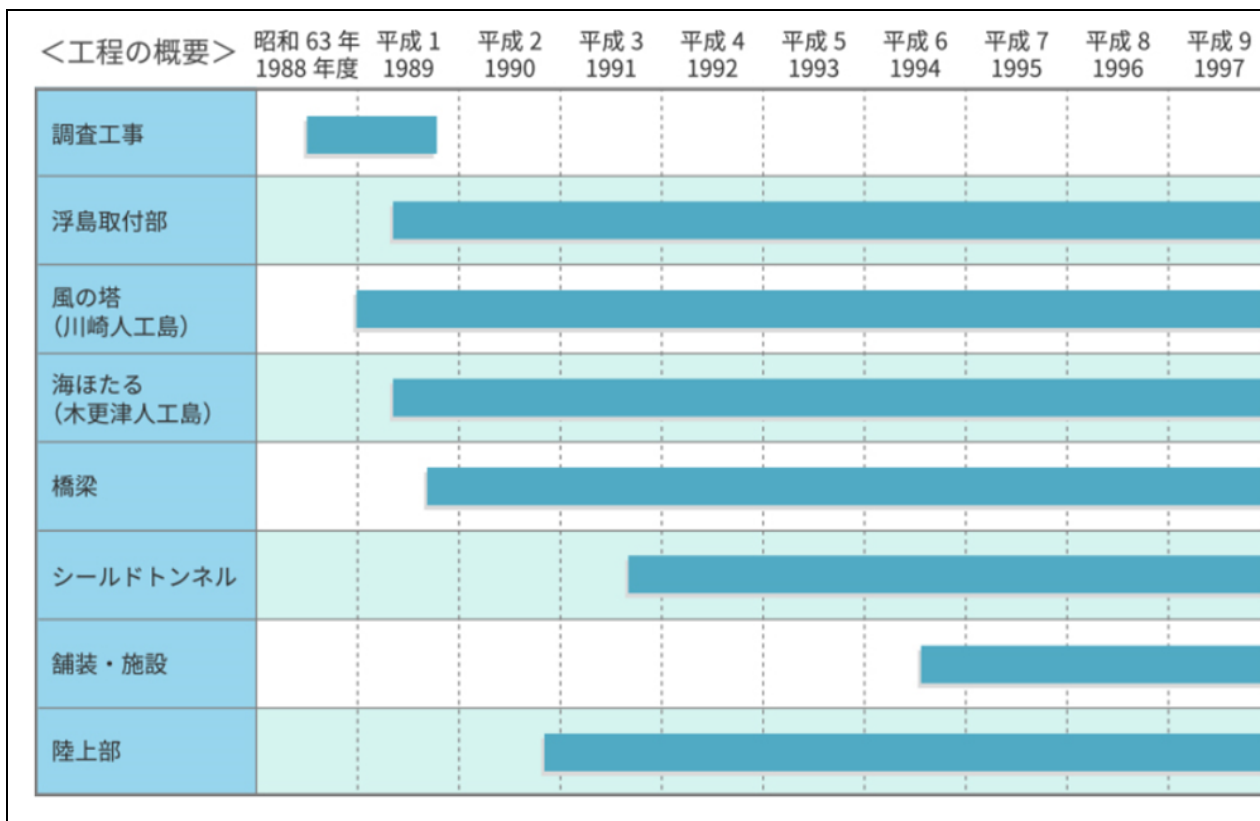
出典 東日本高速道路(株) 平成 29 年 8 月 2 日 東日本高速道路(株) 定例記者会見 資料 2-1

図 101 アクアラインの平面・側面図



出典 東日本高速道路(株) 平成 29 年 8 月 2 日 東日本高速道路(株) 定例記者会見 資料 2-1

図 102 建設工程



出典 全国の高速道路情報サイト「ドラぷら E-NEXCO ドライブプラザ」

[事業方式]

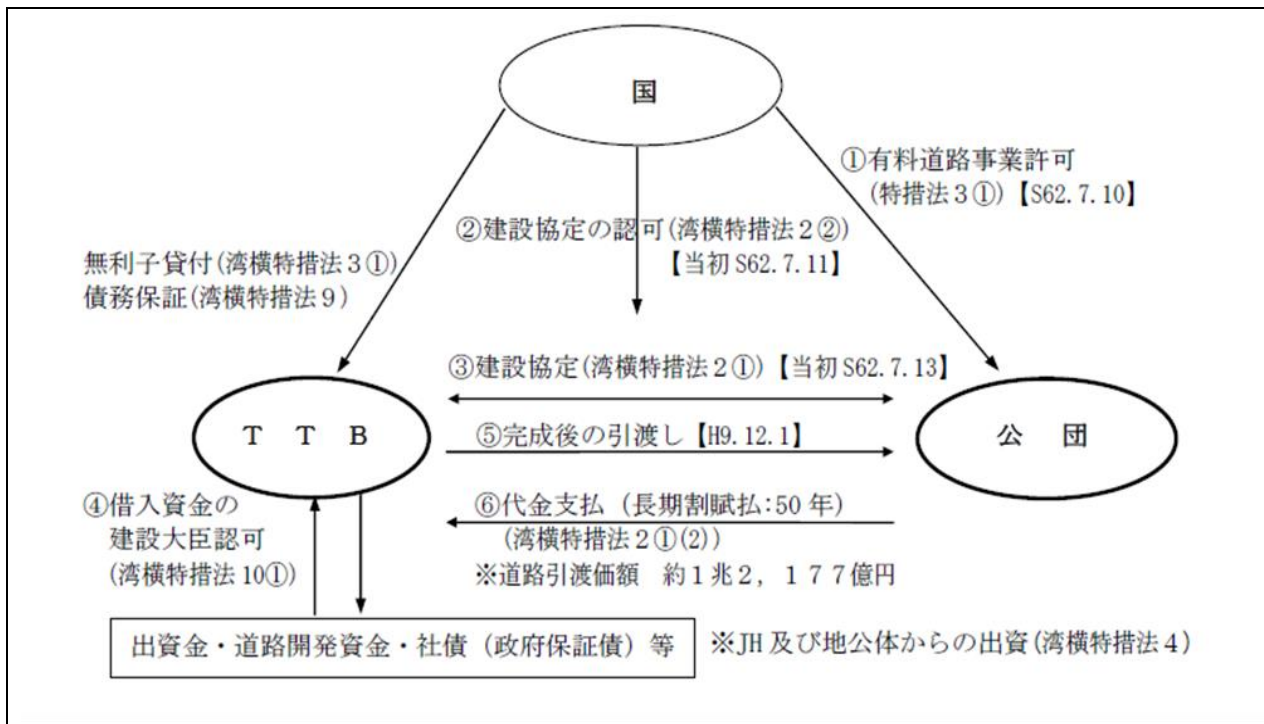
事業の実施主体である東京湾横断道路株式会社と日本道路公団の関係は以下の通り。

表 66 事業の実施主体である東京湾横断道路株式会社と日本道路公団の関係

<ul style="list-style-type: none"> 日本道路公団(以下、「公団」という。)が国土交通大臣より東京湾横断道路について新設し料金を徴収する許可を受ける。 公団は、国土交通大臣の認可を受けて東京湾横断道路の建設及び管理に関する事業を行うことを主たる目的とする株式会社(以下、「会社」という。)と建設協定を結ぶ。 基本的な調査及び、計画調整、用地の取得等については、公団が調達した資金により公団が実施する。 会社は、建築協定に基づき、自ら資金を調達し、東京湾横断道路の新設に関する工事及びその準備行為のうち公団が実施するもの以外のものを実施する。 会社は、完成した施設を公団に引き渡す。 公団は、建築協定に基づき、東京湾横断道路の建設に要した費用を協定後長期に分割して、料金収入等により会社に支払う。 供用後の維持、修繕等の管理は、新たに公団と会社が結ぶ管理協定に基づき、会社が行う。
--

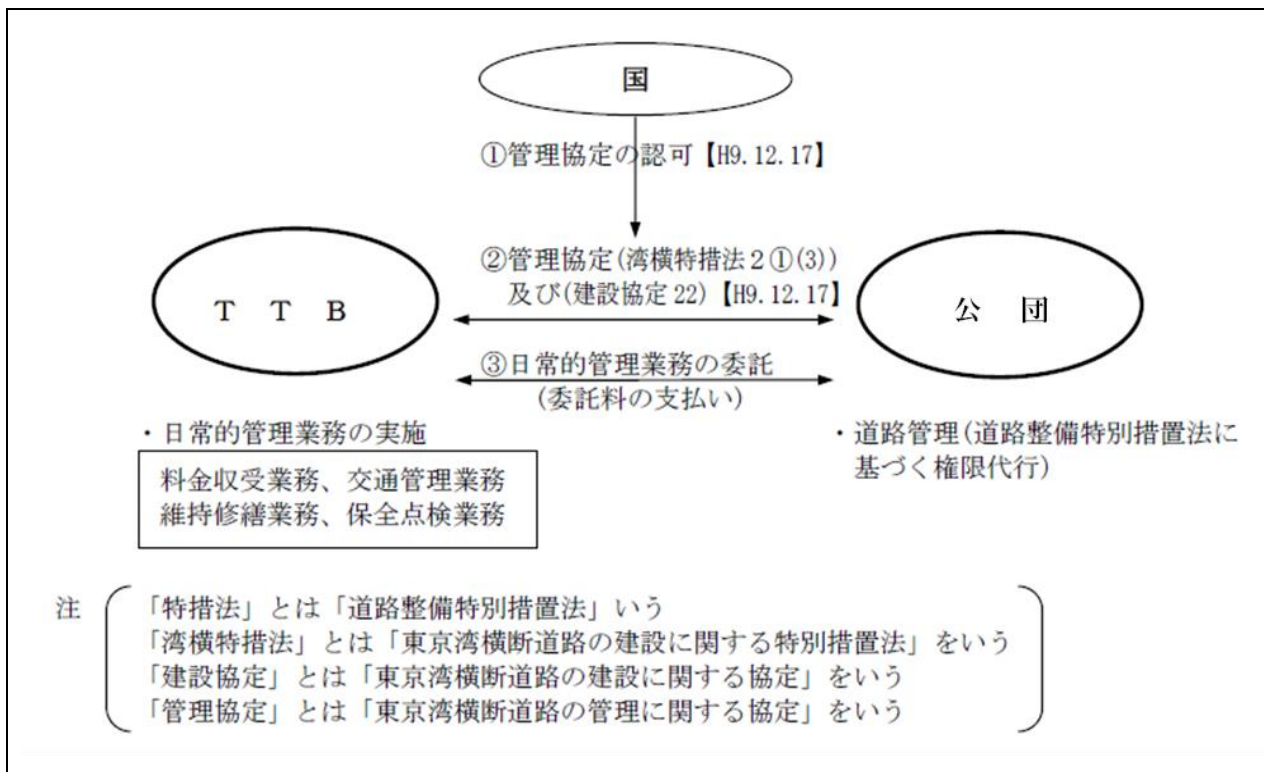
出典 第 2 回高速道路株式会社及び独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構資産評価委員会資料

図 103 建設関係



出典 第 2 回高速道路株式会社及び独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構資産評価委員会資料
 ※湾横特措法: 東京湾横断道路の建設に関する特別措置法、公団: 日本道路公団、TTB: 東京湾横断道路(株)

図 104 管理関係

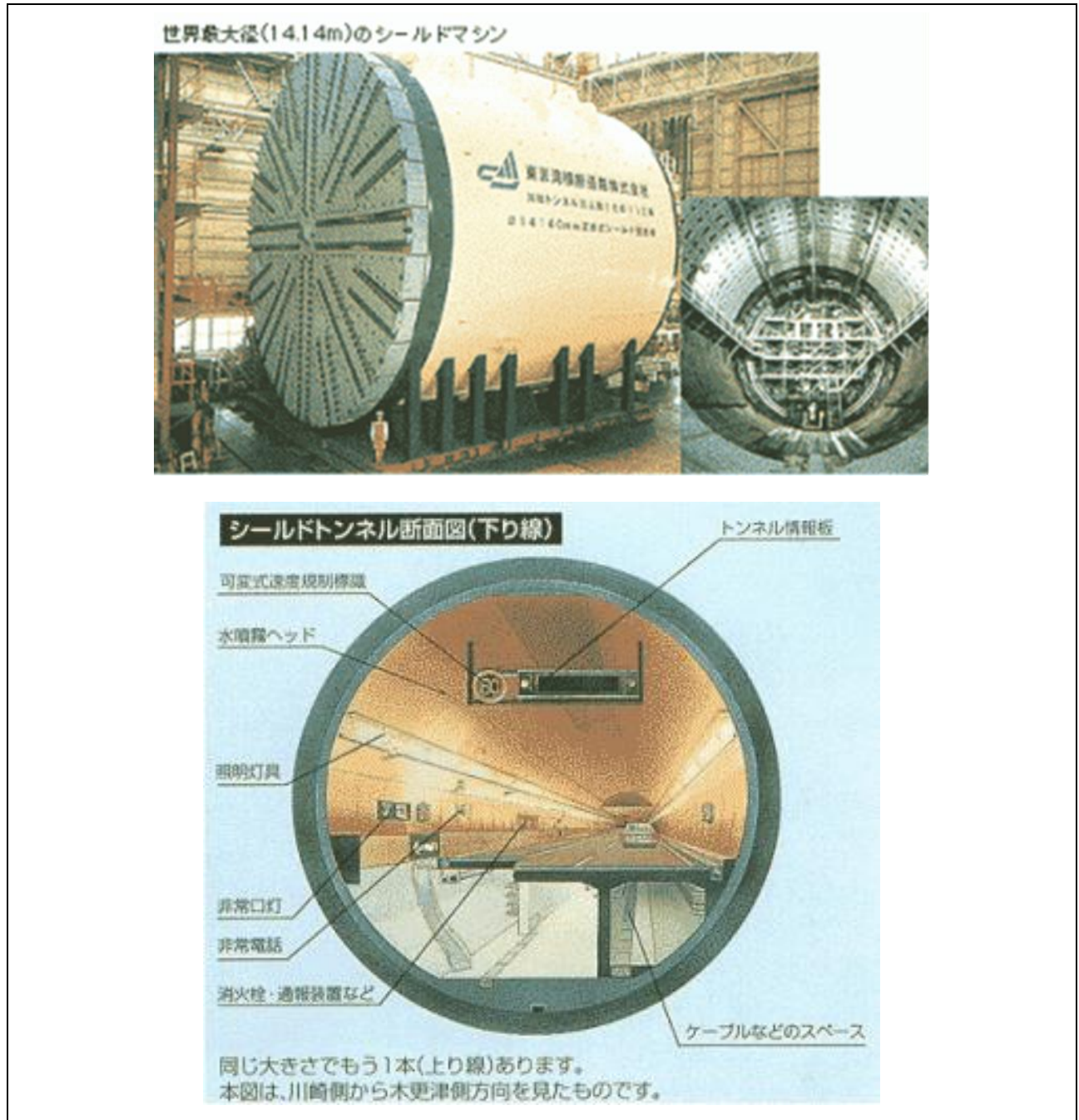


出典 第 2 回高速道路株式会社及び独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構資産評価委員会資料
 アクアラインの建設技術

※湾横特措法: 東京湾横断道路の建設に関する特別措置法、公団: 日本道路公団、TTB: 東京湾横断道路(株)

アクアラインは、世界最大規模の海洋土木工事によって建設された。東京湾の水面下 60m におけるトンネル工事は、海底の軟弱地盤・高水圧に耐える必要があり、川崎から約 9.5km のトンネルではシールド工法が用いられた。施工段階では、人工島がシールドマシンの発進基地として利用された。東京湾アクアラインは海底道路トンネルとしては世界最長のであり、外径が約 14m の世界最大級(当時)のシールドマシンで掘削した。

図 105 シールドマシン



出典 千葉県ホームページ

2) 東京湾アクアラインの建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

①東京湾アクアラインの建設・運用に係る法令等

東京湾横断道路の建設に関する特別措置法(1987年)が制定され、この法律に基づき、日本道路公団と東京湾横断道路(株)の間に「東京湾横断道路の建設に関する協定」が締結されたことによって、東京湾アクアラインの建設工事を東京湾横断道路(株)が担う事が決定した。

②東京湾アクアラインの建設・運用において対応が求められた法・規制と対応策等

以下では、東京湾アクアラインの建設・運用の段階において、特に対応が迫られた法・規制についての整理を行う。

表 67 東京湾アクアラインの建設・運用において対応が求められた法・規制と対応策

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
アセスメント		建設地が複数の都道府県や市町村にまたがっており、各自治体によって環境影響評価に関する法規制の内容が異なるため、対応・調整の必要性があった	相違がある箇所については国や自治体等と協議し、各相違点について対応方針を決定した
工事建設	土木	沈埋工法とは異なり、工法変更後のシーールドトンネル工事から生じる掘削物は泥状であったため、法律上産業廃棄物扱いになり、廃棄コストが増加した	シーールド工法により泥水に溶かして運搬した土に生石灰を添加して、通常の土の性質に戻す処理を実施した

出典 NRI 作成

[環境影響評価に関する規制¹⁶⁾

東京湾アクアラインは調査の着手当初より東京湾の環境に及ぼす影響が心配され、環境調査が進められた。さらに、1976年からは専門家の協力を得て委員会を設置し、水質・海洋生物・大気質などの現況解析、影響調査を実施した。また、1984年からは環境影響評価に関連する大気質・騒音・潮流・水質・生物などの現況調査と予測調査を実施し、1986年から1987年に環境影響評価の手続きを終えて、1987年に道路整備特別措置法第3条に基づく有料道路として事業許可が与えられた。

東京湾アクアラインは、1984年8月の「環境影響評価の実施について」の閣議決定を受けて定められた「建設省要綱」に基づいて環境影響評価が実施された最初の有料道路である。また、神奈川県や千葉県、東京都等の関連する地方公共団体が複数あり、建設省要綱と、関連する地方公共団体の影響環境評価に関する条例や指導要綱との内容が一致していない箇所について、調整が必要であった。

東京湾に面する地方公共団体では、以下の一都二県二市において、環境影響評価に関する条例・要綱等が定められている。東京湾アクアラインが各地方公共団体の条例もしくは要綱を適用する対象事業となるかどうか及び手続きの方法等に相違があった場合どう整合性を担保するか等が論点となった。

- ・ 東京都:東京都環境影響評価条例

¹⁶⁾ 森康男・前田依彦・小島伸一「東京湾横断道路の環境影響評価における国の実施要綱と地方条例との整合化」土木学会論文集 VI-11 第409号 1989

- ・ 神奈川県:神奈川県環境影響評価条例
- ・ 千葉県:千葉県環境影響評価の実施に関する指導要綱
- ・ 横浜市:横浜市環境影響評価指導指針
- ・ 川崎市:川崎市環境影響評価に関する条例

各地方公共団体と協議の結果、東京湾アクアラインに関わる環境影響評価については、関係都道府県は神奈川県・千葉県、関係市町村は川崎市・木更津市とすることで合意した。また、建設省要綱と地方公共団体の条例等との間の手続き等に関する調整は、川崎市条例および千葉県要綱との間のみで実施することを決定した。その後手続きや評価方法に関する三者の相違点を洗い出し、一つ一つの要素について国や関係地方公共団体と協議・調整を経て環境影響評価を完了するに至った。

[掘削土の廃棄処分に関する規制¹⁷⁾

当初計画では沈埋トンネル工法であったため問題はなかったが、掘削土が廃棄物の処理及び清掃に関する法律(1970)の産業廃棄物に該当するシールドトンネルに変更されたため、海底トンネルの掘削土(286万 m^3)の廃棄処理方法が問題となった。シールド工法では泥水状に土砂を溶かして運搬するために産業廃棄物扱いとなり、そのままでは廃棄ができない一方で、掘削土自体は無害な海底の土砂であったため、泥水状の土砂に生石灰を添加し、通常の土の性質に戻した上で、神奈川県側では建設中のコンテナバースの埋立、千葉県側は陸上取付部分の道路の盛土として有効活用するという対応をした。

¹⁷⁾内田恵之助『巨大芸術東京湾アクアライン 計画から完成までの16年間の軌跡 21世紀へ』(1998) 日刊建設通信新聞社

3) 東京湾アクアラインの建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①東京湾アクアラインの建設・運用におけるリスク事象とその対応策の概要

以下では、東京湾アクアラインの建設・運用の段階において、特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策についての整理を行う。

表 68 東京湾アクアラインの建設・運用において特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策のまとめ

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
設計	建築	初期案(1972)では川崎側と木更津側の両側を橋梁構造とし、中央部を沈埋トンネルとする予定だったが、船舶の航行の障害になる可能性が浮上した	川崎側の構造を棟梁からトンネルへ変更し、トンネルの構造を沈埋トンネルからシールドトンネル構造に変更した
	建築	大水深・高水圧下、地震多発地帯、軟弱な沖積粘性土が厚く堆積した地盤に建設されるという特徴があったことから、耐震性を強化する必要がある	当時一般的だった1パターンではなく、2パターンの設計用入力地震動を用いて、より高い耐震設計が実施された

出典 NRI 作成

②東京湾アクアラインの建設・運用において特に対応が必要であったリスク事象とその対応策

[沈埋トンネル工法に係る建設リスクの検討とシールド工法への変更]

当初案は川崎側と木更津側の両側を橋梁構造とし、中央部を沈埋トンネル構造とするものであったが、川崎側の大型船舶の航行維持等の理由から、1985年に川崎側もトンネル構造とし、トンネルを沈埋トンネルからシールドトンネルに変更した。

東京湾では恒常的に船舶が航行しており、当時建設予定地付近の海域では1日あたり約1,400隻の船舶が通行し、特に大型船舶は水深が比較的深い川崎側を通過するため、川崎側に橋梁を建設すると、船舶の航行上大きな障害となる懸念があった。一方で、船舶の航行が可能になるほどの橋梁を建設するためには、吊橋のような高い建築物を設置する必要があるが、川崎側の浮島JCT付近には、羽田空港があり、空域制限によって吊橋等の橋梁の建設は不可能であった。

そのため、大型船舶の航行が少ない木更津側は、建設コストの観点から経済的に有利な橋梁構造のままとし、川崎側は、棟梁構造からトンネル構造に変更され、工法としては、当時技術的な進歩が顕著であったシールド工法が採用された。

[地震対策¹⁸⁾

東京湾アクアラインはトンネル断面が大きく、大水深・高水圧下・地震多発地帯・軟弱な沖積粘性土の地盤に建設されるという構造上・施工上および耐震上、特殊で厳しい条件下に建設されたトンネルである。このため、東京湾アクアラインは当時最新の研究成果に基づく設計手法を採用し、耐震設計・地震対策が行われた。設計当時、一般の構造物は一種類のみ地震波を想定し設計されていたが、原子力施設等の設計の考え方を参考に、本州四国連絡橋と同様の 2 段階設計法が採用された。また、トンネルの横断面は地震後も常時の大きな土圧と水圧に抵抗し、内空を確保する必要があるため、地震による変形とそれに伴う覆工に生じるひずみが小さくなるようにし、逆に縦断方向は、地震後は止水性のみ確保できれば良いとの考え方から、地震によるひずみを吸収できる構造計画がされた。

図 106 設計用に設定した入力地震動と設計方針

	地震の強度	設計方針
L-1	構造物の供用期間中に発生する可能性が、比較的大きいと考えられる地震動 (再来期間 150 年)。	損傷を防止 (許容応力度以内、または降伏応力度以内)。
L-2	関東地区で発生する可能性がある最大級の地震動(関東地震と同程度か、あるいはそれ以上の地震が、関東地震よりさらに近くで発生した場合の地震動)。	復旧可能な損傷は許すが、崩壊は防止 (破壊耐力以内)。

出典 山田憲夫・松岡廣志・田中努「シールドトンネルの地震対策」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly 土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

¹⁸⁾山田憲夫・松岡廣志・田中努「シールドトンネルの地震対策」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly 土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

4) 東京湾アクアラインの建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

[セーフティ・アセスメント¹⁹]

トンネル掘進をはじめ、同地中接合・棟梁架設・換気塔構築等、前例が少なく特に注意が必要な工種については、発注者の東京湾横断道路㈱と施工者のJVが一体となって主要危険項目の抽出及び対策の検討・危険項目の影響評価等を行い、安全施工に努めた。

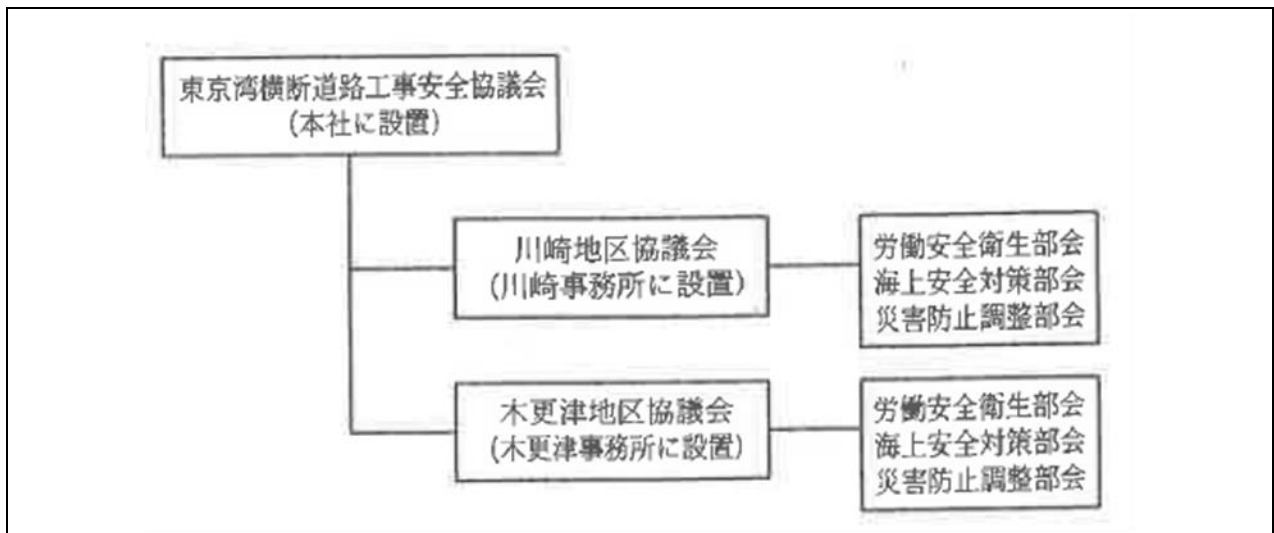
[工事安全管理体制²⁰]

作業現場で複数のJVが同時に作業し、また厳しい気象条件下での工事である点を考慮し、工事災害の防止を徹底するために、発注者である東京湾横断道路㈱が工事安全対策本部および事故・災害対策本部を設置し、JVの自主的安全管理組織と相互に協力して安全管理を行った。

東京湾横断道路㈱が社内に設置した組織のうち、工事安全対策本部は東京湾アクアライン建設にあたり、工事現場および周辺地域での事故を防止し、安全かつ円滑に工事を実施するために必要な、基本的な安全対策を審議するために設置した組織である。組織構成員は、代表取締役専務を本部長とし、総務・技術・工務各部長のほか工事関係者約30名であった。事故・災害対策本部は、事故・災害、その他の緊急事態の発生時に、代表取締役専務を本部長として臨時的に設置する組織である。

東京湾横断道路㈱とJVは、連携して工事災害の防止に関する総合的な安全管理方針の策定・推進を実現するために、東京湾横断道路工事安全協議会を設置した。年2回の定期開催に加え、重大な労働災害・海上事故など、社会的影響が大きいと思われる事故の発生時には、ただちに臨時協議会が開催され、事故原因の究明・再発防止策などが協議された。さらに、工事安全協議会の下部組織として、工事現場である川崎地区および木更津地区にそれぞれ協議会が設置された。地区協議会の構成は、工事事務所職員および各JVの現場代理人のほか、地元関係行政機関の参画も得て、工事安全管理に対し意見・助言を受けた。

図 107 東京湾アクアライン建設工事安全協議会 組織図



出典 三浦英夫「工事安全管理について」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly
土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

¹⁹三浦英夫「工事安全管理について」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly 土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

²⁰三浦英夫「工事安全管理について」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly 土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

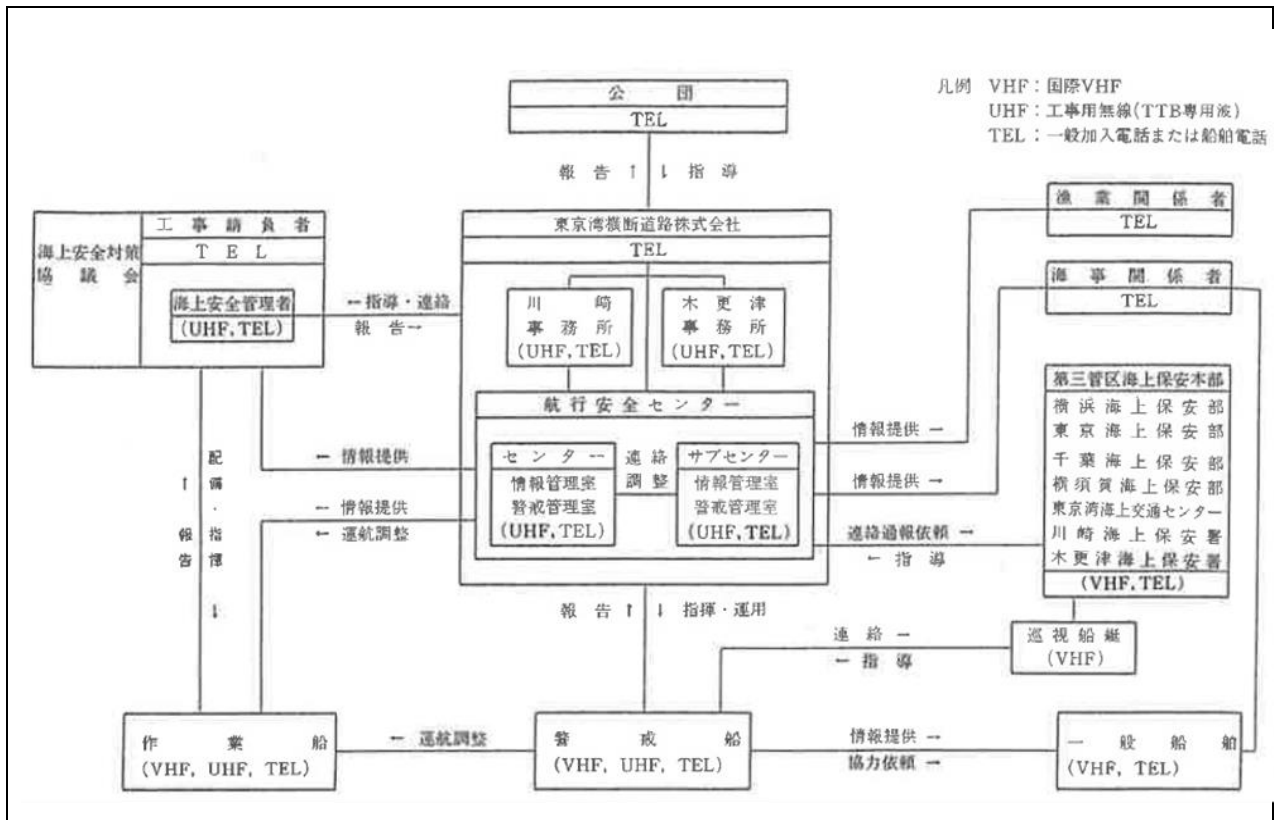
[航行安全対策²¹]

東京湾は船舶交通がきわめて輻輳し、また多目的に利用されている海域であり、大規模かつ長期のアクアライン建設工事がこの海域の海上交通に与える影響が大きいことが想定されたため、東京湾横断道路(株)は「東京湾横断道路建設工事海上安全対策実施要綱」を制定し、航行安全センターを設置する等安全対策を講じた。

神奈川県川崎市東扇島に設置された航行安全センターは、建設工事実施期間中における船舶の安全と工事の安全を図るため、工事区域や周辺海域の警戒体制・作業船の運航管理体制・海難等事故に即応するための保安応急体制等を包含する総合安全管理組織である。さらに、千葉県木更津市中島に木更津サブセンターが設置された。

建設期間中は工事区域の設置・工事区域の標示・工事作業情報の周知・警戒船の配備・作業船の管理等を実施し、東京湾アクアライン完成後は、新たに建設された海洋構造物を考慮した航行路の設定や、航行援助施設(構造物や棟梁の位置を示す灯火や標示等)の設置を行った。

図 108 安全管理体制図



出典 高橋明男・矢吹禎浩「航行安全対策」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly 土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

²¹高橋明男・矢吹禎浩「航行安全対策」基礎工 = The foundation engineering & equipment, monthly 土木・建築基礎工事と機材 vol.26 no.1 1998

7.青函トンネル事例分析

1) 青函トンネルの概要

青函トンネルは、青森県東津軽郡と北海道上磯郡を結ぶトンネルであり、全長は 53.85km、うち海底部分は 23.3km である。1964 年に建設が開始され、1985 年に本坑が開通した。総工費は 6,900 億円であり、現在は、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(以下、鉄道・運輸機構)が所有している。

青函トンネルは津軽海峡線として開通したが、建設当時から新幹線の運行を考慮した構造になっており、現在は北海道新幹線と在来線が共用している。

北海道新幹線(新青森～札幌間)は、全国新幹線鉄道整備法に基づく 1973 年の整備計画により、整備が行われている「整備新幹線」である。鉄道・運輸機構は青函トンネルの保有主体として、営業主体である JR 北海道旅客鉄道株式会社(以下、JR 北海道)に貸し付ける業務を行っている。

表 69 青函トンネルの概要

項目	概要
建設時期	1964 年～1985 年
規模	53.85km (海底部分 23.3km)
総工事費	約 6,900 億円
実施主体	日本鉄道建設公団

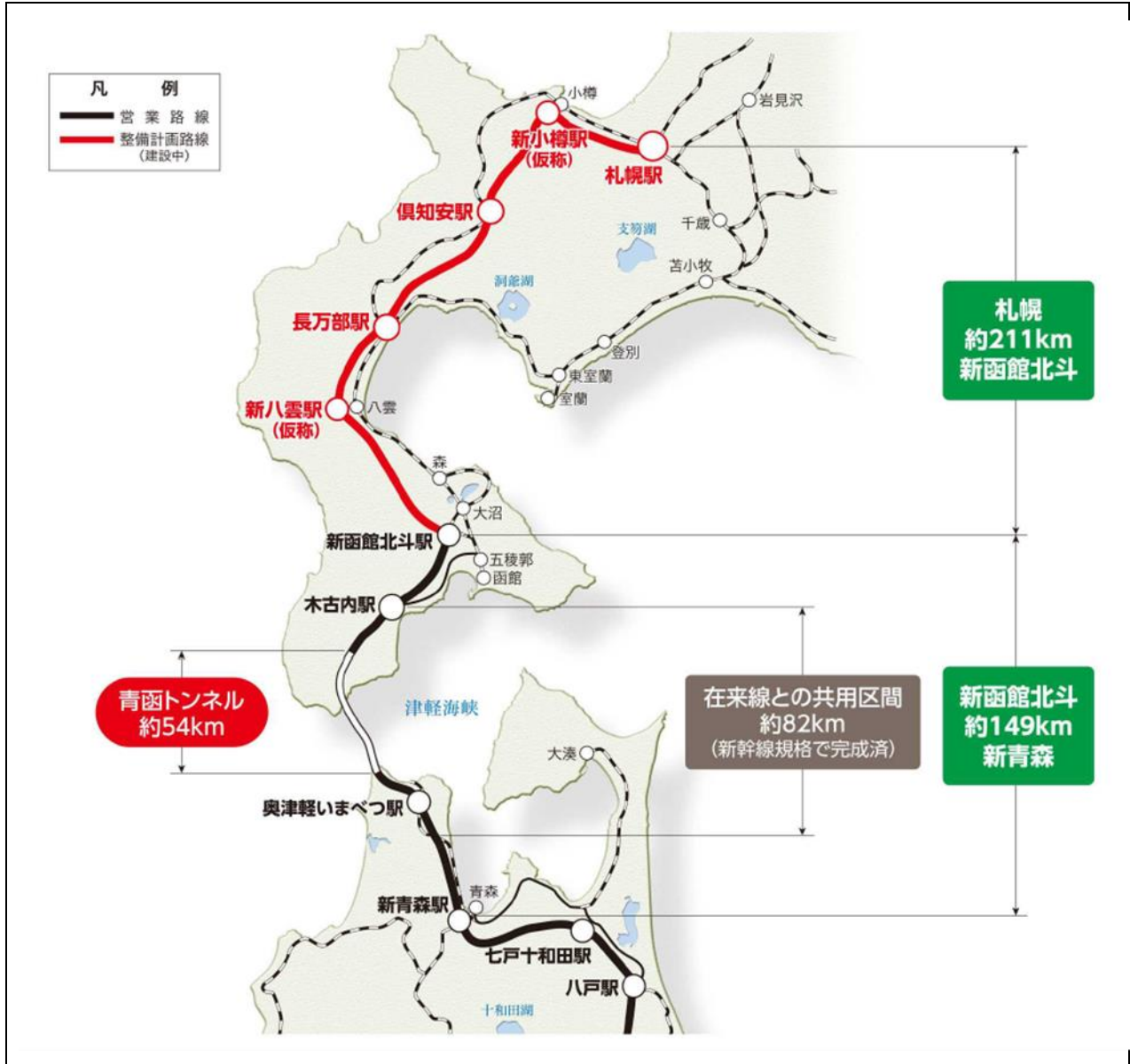
出典 鉄道・運輸機構 HP、日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)等より NRI 作成

表 70 青函トンネル完成までの過程

時期	概要
昭和 21 年 4 月	地質調査開始
昭和 29 年 9 月	洞爺丸事故
昭和 39 年 5 月	北海道側斜坑掘削開始
昭和 41 年 3 月	本州側斜坑掘削開始
昭和 42 年 3 月	北海道側先進導坑掘削開始
昭和 43 年 12 月	北海道側作業坑掘削開始
昭和 45 年 1 月	本州側先進導坑掘削開始
昭和 46 年 9 月	工事実施計画を認可
昭和 54 年 9 月	竜飛工区先進導坑・作業坑貫通
昭和 55 年 3 月	吉岡工区先進導坑・作業坑貫通
昭和 58 年 1 月	先進導坑貫通
昭和 60 年 3 月	本坑貫通
昭和 62 年 10 月	津軽海峡線試運転開始
昭和 63 年 3 月	津軽海峡線開業

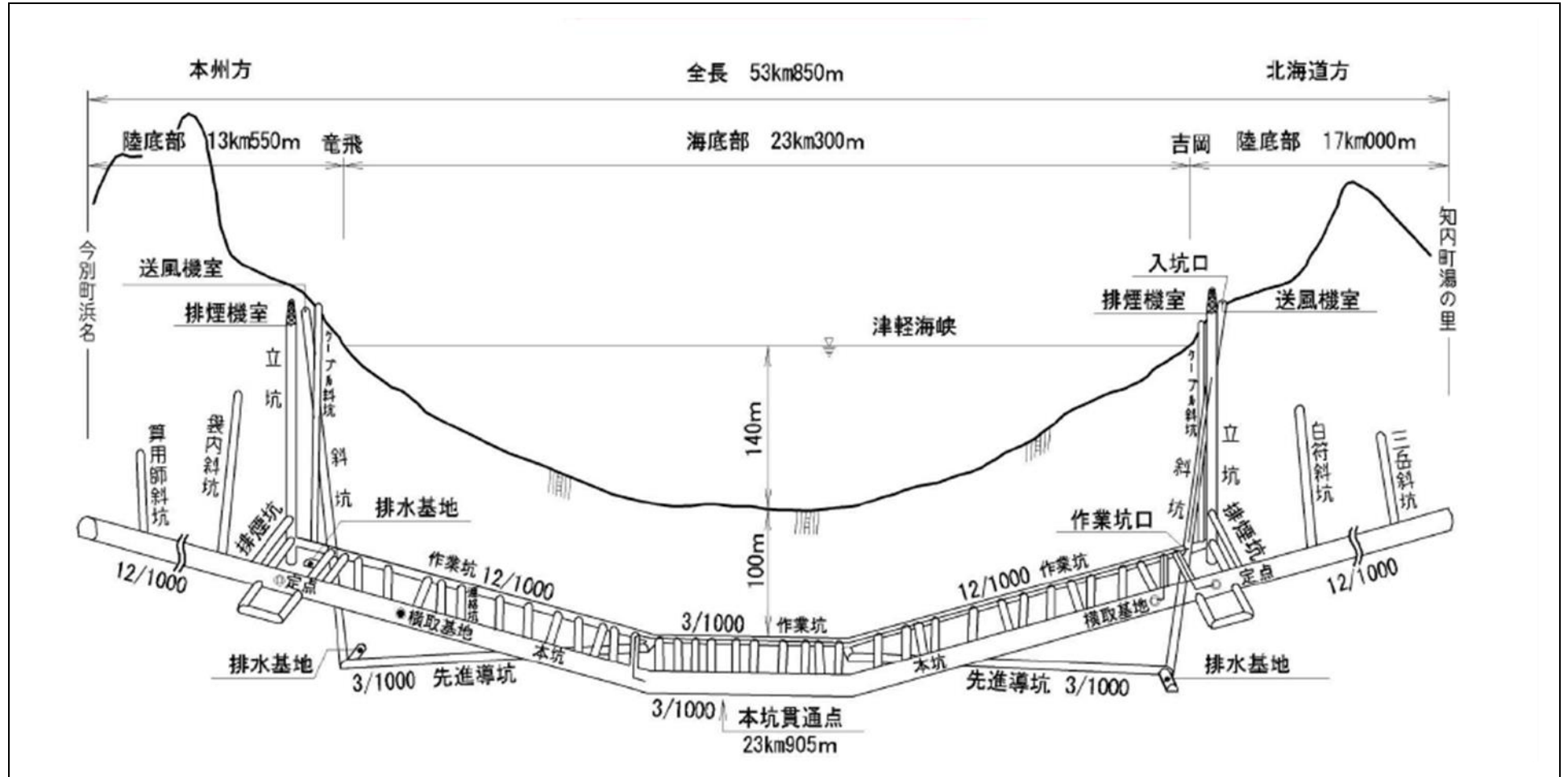
出典 日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)等より NRI 作成

図 109 青函トンネルの位置



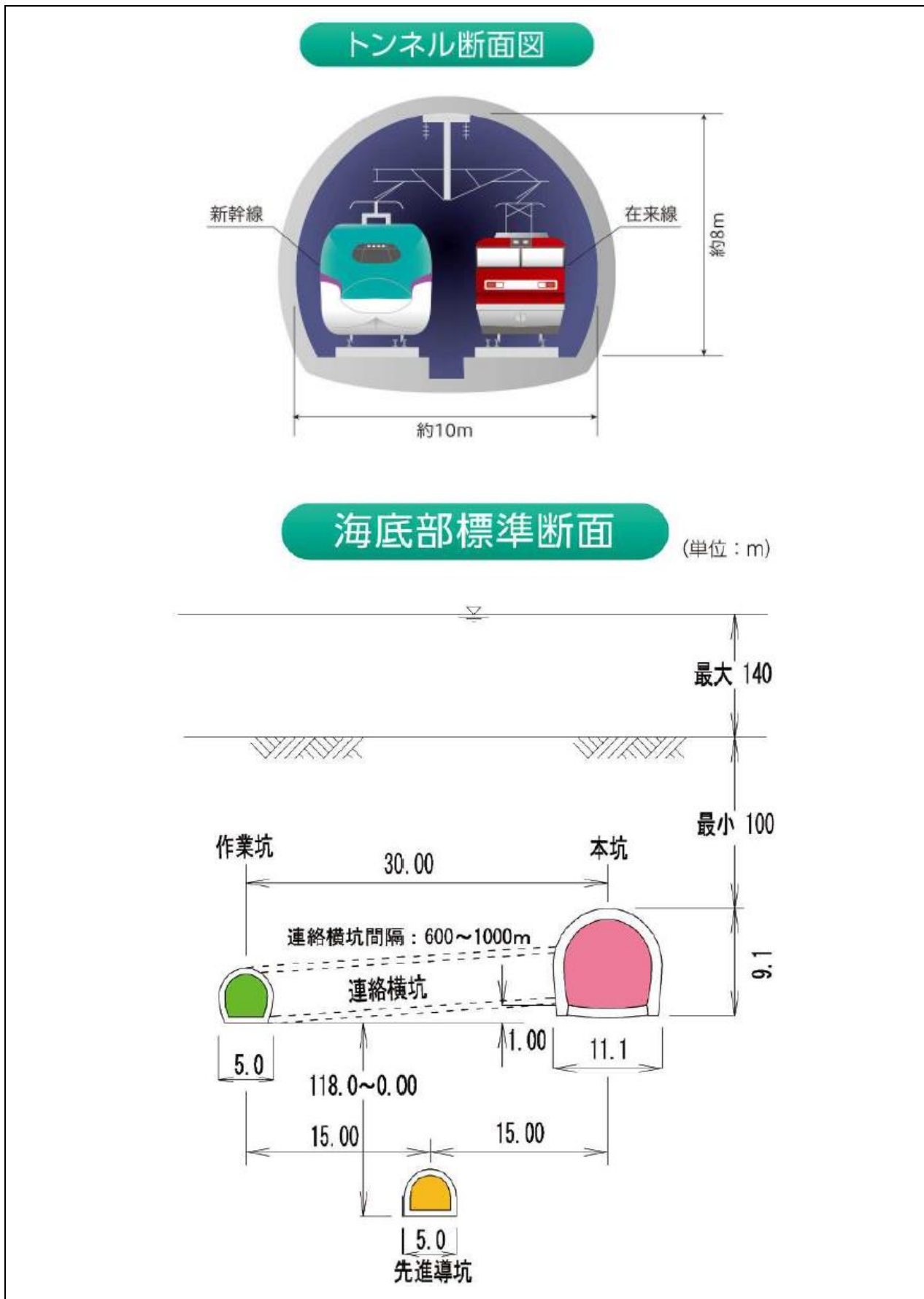
出典 鉄道・運輸機構パンフレット「北海道新幹線」

図 110 青函トンネル 立体略図



出典 鉄道・運輸機構パンフレット「北海道新幹線」

図 111 青函トンネルの断面図



出典 鉄道・運輸機構パンフレット「北海道新幹線」

2) 青函トンネルの建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

青函トンネルは、日本国内の法律、青森県や北海道の条例等の規制を遵守している。青函トンネルに関する法律・規制の中で特徴的なものについて以下で説明を行う。

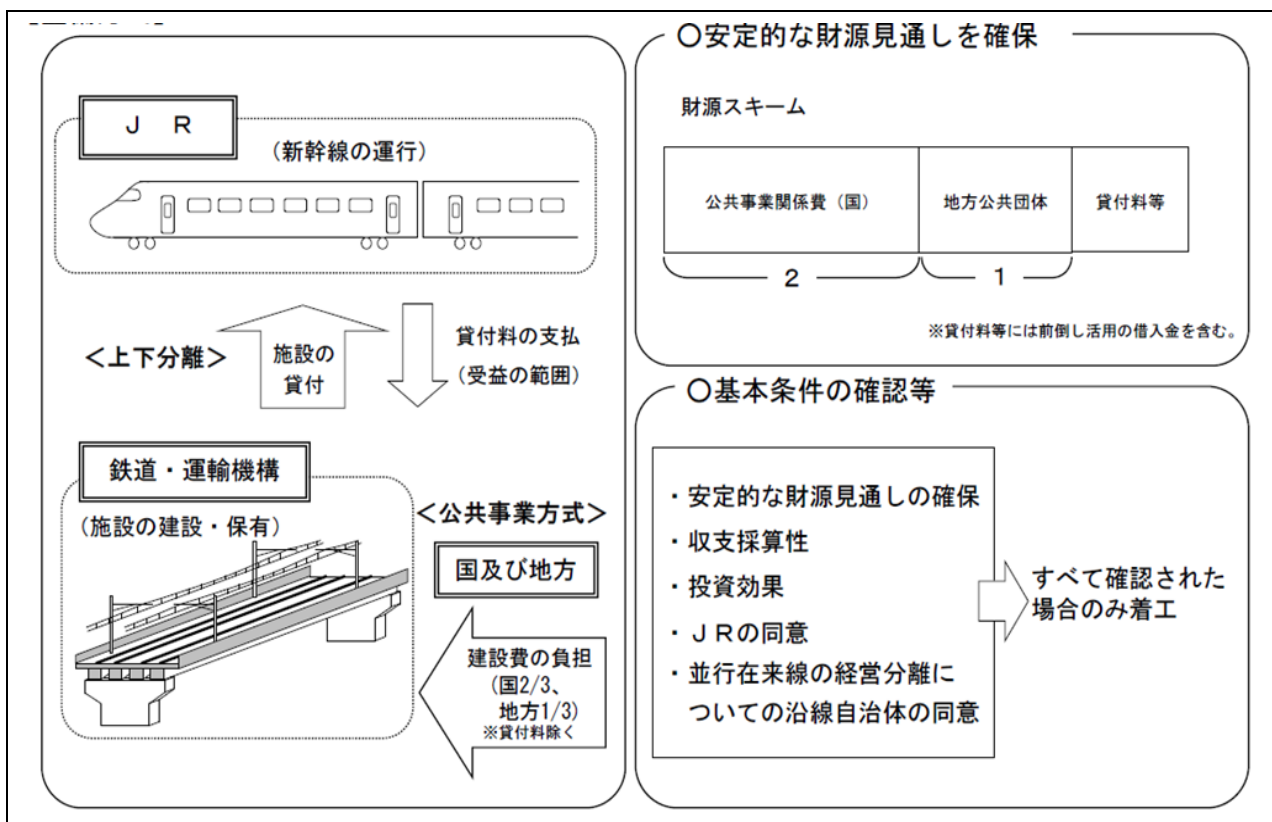
[日本鉄道建設公団法]

青函トンネルは日本鉄道建設公団法(1964年)によって設立された日本鉄道建設公団によって建設された。日本鉄道建設公団法とは、鉄道の建設等を推進することにより、鉄道交通網の整備を図り、その整備をもって経済基盤の強化と地域格差の是正に寄与するとともに、大都市の機能の維持及び増進に資することを目的に、日本鉄道建設公団という法人を設立する事を規定した法律である。国の特殊法人改革の一環で2002年にこの法律は廃止され、日本鉄道建設公団は2003年に解散し、新設の独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構に統合された。

[全国新幹線鉄道整備法]

青函トンネルは、全国新幹線鉄道整備法に基づいて1973年に整備計画が作成された北海道新幹線(新青森～札幌間)の運行が建設当時より考慮されており、新幹線規格での設計・建設が行われた。整備新幹線は、鉄道・運輸機構が施設を建設・保有し、営業主体であるJRに対して施設を貸し付ける上下分離方式により運営されている。財源については、貸付料収入を充てた残りの部分について、国が2/3、地方自治体が1/3を負担している。

図 112 整備方式



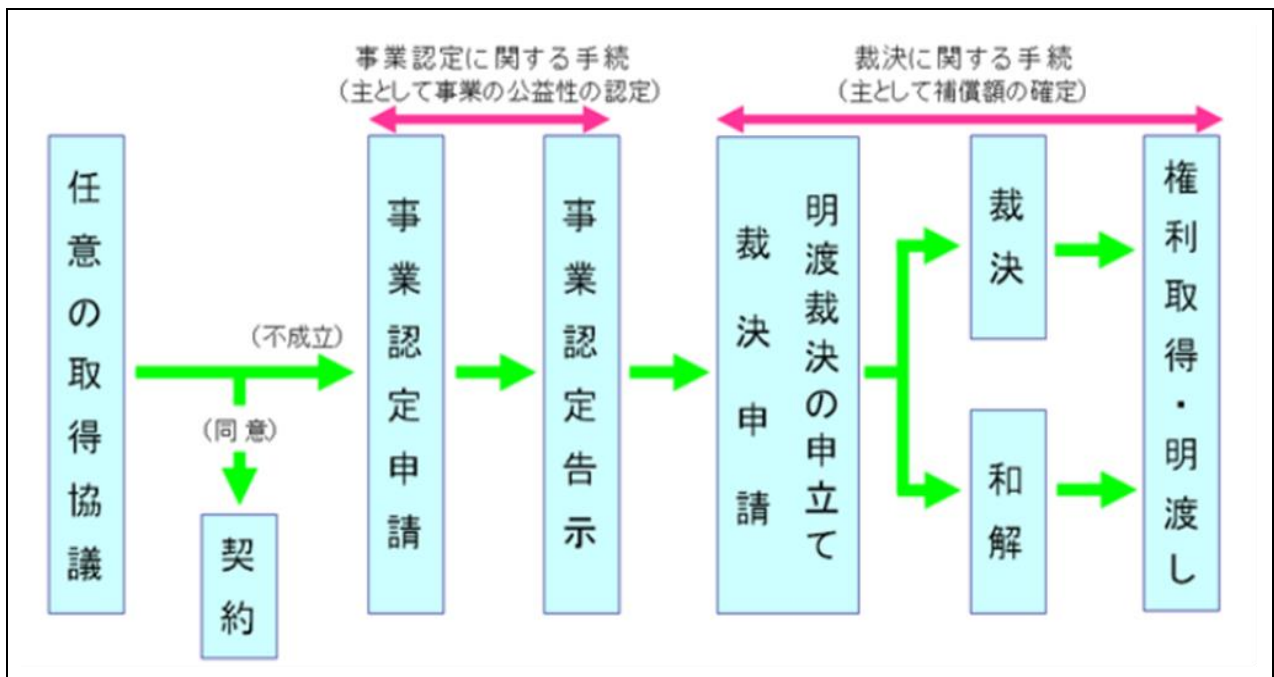
出典 国土交通省 HP

[土地収用制度]

青函トンネル建設等の公共事業の施工者は、土地を取得する必要がある。土地を取得するためには、土地の所有者と十分な用地協議を行った上で契約を締結し、所有者が被る損失に対して正当な補償を行うことが基本である。

一方効率的かつ円滑に事業を進めるために、土地収用制度を活用する場合がある。土地の所有者等の同意を得られない場合や所有者等の所在が不明の場合には、土地収用法により公正な第三者の判断を得、所有者等に適正な補償を行うことで、公共事業の施行者が所有者等の同意が無くても強制的に土地等を取得することが可能である。

図 113 土地収用の手続きフロー



出典 鉄道・運輸機構 HP

3) 青函トンネルの建設・運用に係るリスクに関する調査分析

①青函トンネルの建設・運用におけるリスク事象とその対応策の概要

以下では、青函トンネルの建設・運用の段階において、特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策についての整理を行う。

表 71 青函トンネルの建設・運用において特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策のまとめ

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
契約		最初の工事実施計画を作成した時期から完成までの間に物価高騰が起り、総工事費用が2,438億円増大した。	当初の計画から3回の予算改訂を行い、その都度項目ごとの見直し・整理を実施した。
工事建設	土木	工事排水や緊急排水による周辺海域汚染を引き起こし、漁業への被害が発生した。 工事起因の農業用水・家畜用水の減濁水及び地殻変動・建物の変状が発生した。	「公共用地の取得に伴う損失補償基準要綱(昭和37年閣議決定)」等の考え方を準用し、個別の案件毎に補償金の支払い等により処理した。
		軟弱・不良地質帯であったため、地盤の安定化や前方の地質状況の把握が不可欠な状況であった。	新技術(水平長尺ボーリング技術、吹き付けコンクリート工法)を導入し対処した
		調査工事中に1回、本工事開始後に3回の異常出水が発生(最大70t/min:吉岡作業坑)し、工事費ならびに工期に大きな影響を及ぼした。	設備の増強、緊急用資材の集積等によって対応した。
		当初計画では、トンネル内部に流入する湧水は、すべて地上にポンプアップして排水する計画であったが、永年的に運転経費が掛かり、膨大になるとことが懸念された。	止水注入技術を開発して、適用を図ることによって、トンネル内部に流入する湧水量を低減させ、運転維持経費の低減につなげた。
	建築	トンネル開通後の列車火災に備え、防災設備をより強化する必要がある。	竜飛・吉岡海底部に乗客の避難誘導や消火作業を行うための場所(=定点)を整備した。
運転		開業から10年後の調査において、湿度と空気中の塩分濃度が高いことが原因の一部施設の老朽化が発見された。	国の補助金2/3、JR北海道の負担金1/3により、機能保全のため改修工事を実施した。

出典 NRI 作成

②青函トンネルの建設・運用において特に対処が必要であったリスク事象とその対応策

[物価高騰等による総工事費の増加²²]

津軽海峡線の当初の工事実施計画(昭和46年9月)は、青函トンネルのみで認可を得たものであり、その総工費は2,014億円(調査費を含む。)であったが、その後物価変動による工事費の増加や地質不良・異常出水・防災対策の計画変更等により、3回の改訂があり、最後の改訂(昭和61年3月)では、5,384億円に変更された。当初計画からみた総工事費の増額は3,370億円になるが、このうち物価高騰による増額が2,438億円と総工事費全体のうち、約70%を占めている。さらに、(供用時の維持管理コストの低減のために、)掘削工事に先立ってできる限り湧水を低減させる止水グラウト工法の採用によって、総工事費としては増加した結果になっている。

²²日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)

図 114 青函トンネルの総工事費 改訂経緯 (単位:百万円)

項目	当初	変更その1(54.3認可)		変更その2(57.7認可)		変更その3(61.3認可)		増減合計
	46.9認可	工事費	増額	工事費	増額	工事費	増額	
用地盤	40	1,562	1,522	1,071	△ 491	1,055	△ 16	1,015
橋りょう	—	—	—	—	—	—	—	—
軌道	142,670	291,816	149,146	406,201	114,385	417,078	10,877	274,408
停車場工作物	15,000	21,410	6,410	23,830	2,420	17,323	△ 6,507	2,323
建物	—	—	—	—	—	—	—	—
電灯・電力線路	260	547	287	2,126	1,579	3,115	989	2,855
通信線路	3,350	5,918	2,568	10,393	4,475	10,531	138	7,181
信号保安設備	810	1,407	597	3,025	1,618	4,492	1,467	3,682
防護設備	370	695	325	6,703	6,008	5,268	△ 1,435	4,898
連絡設備	—	—	—	—	—	—	—	—
電車線路	—	—	—	—	—	—	—	—
発電所・変電所	5,800	10,969	5,169	8,034	△ 2,935	8,028	△ 6	2,228
工事用建物	7,670	15,030	7,360	18,260	3,230	20,357	△ 2,097	12,687
工事用機械	2,220	6,092	3,872	7,176	1,084	6,831	△ 345	4,611
工事付帯	16,710	24,666	7,956	25,053	387	24,054	△ 999	7,344
合計	6,500	17,388	10,888	19,128	1,740	20,268	1,140	13,768
合計	201,400	397,500	196,100	531,000	133,500	538,400	7,400	337,000
記事			騰 196,100	物 騰 41,320		物 騰 6,370		
			項目変更 850	計画変更他 92,180		計画変更他 1,030		
			用地 3,010			項目変更 △ 470		
			軌道 △ 5,300			軌道 △ 862		
			電灯電力 △ 457			建物 1,315		
			通信線路 △ 122			電灯電力 372		
			信号保安 △ 30			通信線路 60		
			電車線路 △ 687			工事用建物 △ 415		
			発電所 △ 857					
			工事用建物 1,900					
		工事用機械 △ 1,000						
		工事付帯 2,693						
		計 196,100		計 133,500		計 7,400		

出典 日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)

[周辺環境への被害²³]

津軽海峡線の工事は、青函トンネルがその大半を占め、地域住民の生活区域接する部分が少ないため、他の工事線と比較して一般的な工事補償件数は決して多くはなかったが、漁業補償が必要であった。

-漁業補償

トンネル掘削に伴う大量の工事用排水及びトンネル内の異常出水に伴う緊急排水により、周辺海域を汚濁させたため、近隣の漁業に被害が発生した。一方、参考になる前例がほとんどなく、また漁場毎に条件が異なるため交渉が難航したが、北海道・青森県・北海道大学等の協力を得て、漁獲量調査及び漁業影響調査等を実施することで、損害額を算定し、補償を行った。

-渇水補償

青森県蟹田町及び今別町の取付部のトンネル工事の施行に起因して発生した農業用水及び家畜用水の減渇水については、従前の機能を回復させるため、応急対策として設置した施設を現物補償し、新たに設置する必要がある施設の建設費及びこれらの施設に必要な増加維持管理費を補償した。

また、青森県三厩村及び小泊村については、大規模な工事基地や土捨場及び陸底部トンネル掘削が原因で周辺住民の飲料水として使用されていた河川表面水等が汚濁及び減渇水した。両村の補償は、青函トンネルの鉄道施設保守用水に使用している袋内深井戸を補償水源として兼用することで解決した。

-補償基準等

工事補償は、案件毎に補償内容が異なり、画一的に処理することは極めて困難であるため統一した基準はなく、「公共事業の施行に伴う公共補償基準要綱(昭和 42 年 2 月 21 日閣議決定)」および「公共用地の取得に伴う損失補償基準要綱(昭和 37 年 6 月 19 日閣議決定)」等の考え方を準用して処理した。

このうち渇水補償については、昭和 60 年 4 月に公団における処理要領として、「減渇水に係る損害等処理要領(昭和 60 年 4 月 25 日経主第 37 号依命通達)」が制定された。

一方、年々工事補償の内容が複雑かつ大規模化してきている状況等に対応すべく、昭和 55 年に日本鉄道建設公団は本社に「工事補償対策委員会」を設置し、補償基準及び重要案件に係る補償方針等を審議することとした。

²³日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)

[軟弱・不良地質帯²⁴]

青函トンネル海底部の地質は、第三紀火山岩・堆積岩が多くの断層により分断されており、硬軟の変化が多い複雑な状況であった。また、海水が地底から湧水として染み出てくる状況での掘削作業となり、前方の地質状況の把握が不可欠であった。

そこで水平長尺ボーリング技術を開発し、工事に導入した。建設当時、水平長尺ボーリング技術は世界的にも実施事例が少なく、大半の担当職員や作業員は同技術に関する知識・経験が不足していたため、試行錯誤しながら改善と研究が重ねられた。最終的には、1,000mもの長いボーリングが可能となった。

前方の地質状況を把握した上でさらに、高圧で噴出する湧水への止水対策や湧水等により崩落の危険性がある地盤の安定化が、大きな課題であった。湧水が多く発生する青函トンネルの建設現場では、岩盤への薬液注入とセメント注入を融合させる工法と、掘削直後の岩盤に、コンクリートを吹き付けて、崩壊を防止する吹き付けコンクリート工法が新しく導入された。

[異常出水²⁵]

青函トンネルの海底部工事では、切羽における通常の排水設備能力を越えた、概ね4 m³/min以上の土砂流出を伴う出水を異常出水と呼ぶが、調査工事着手から完成まで下記図表に示すように合計4回の異常出水が発生し、工期及び工費に多大な影響を及ぼした。

4回の異常出水はいずれも断層破碎帯において発生したもので、付近の地質は破碎を受け、亀裂が多く軟弱化しており、かつ付近に多量の地下水を包含するなど複雑な構造であった。これらの区間では地盤注入を実施した後に掘削を行ったが、掘削に伴い軟弱地盤の地山がゆるみ、注入範囲外からの水を導き、さらに水脈を拡大して出水に到ったと考えられる。

異常出水時の対策は、一般に次の手順で行った。

- 1-湧水又は土砂の流出を防ぐためのバルクヘッド(坑道隔壁)の築造及び排水設備の増強(排水ポンプの増強等)
- 2-排水作業及び土砂等の除去作業
- 3-復旧対策計画のためのボーリング等による地質調査
- 4-復旧対策の比較検討(出水切羽からの直進又は迂回坑案)
- 5-止水及び地盤強化のための注入ならびに掘削

昭和51年5月6日に吉岡作業坑で発生した異常出水は、出水量が最大約70t/minと一番規模が大きく、排水能力をはるかに超えており、一時は坑道全体の水没が懸念されるほどの危機的状況に至った。一方本坑へ湛水させ、送気管(径300mm)までも排水管として使用して懸命な排水作業を行い、さらに出水量の漸減等により、排水設備の要である斜坑底ポンプ座の水没を防ぐことができた。本格的な排水作業としては、本州側袈内工区及び上越新幹線中山トンネル四方木工区より予備ポンプの増援をうけ、また排水管を増強し、作業坑及び先導坑経由の2系統の排水設備をフルに稼働して実施した。

²⁴ 小島廣光「青函トンネル建設の組織論的研究(4・完)」北海道大学経済学研究 = ECONOMIC STUDIES, 38(2) (1988-09)
<http://hdl.handle.net/2115/31799>

大成建設 HP http://librarytaisei.jp/works/vol017/index_02.html

²⁵ 日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)

図 115 異常出水一覧

工区	坑道	出水切羽キ口程 (水深、土かぶり)	発生年月日 (発生順序)	湧水量		水没 区間 (m)	土砂 埋没 区間 (m)	復旧着手 までの日数 (日)	復旧工事 所要日数 (箇月)	出水切 羽到達 (年月日)	復旧 対策	地質
				最大時 (t/分)	最終時 (t/分)							
竜飛	斜坑	1K233m (25m、215m)	44.2.13 (1)	16	5.3	196	15	(44.3.8まで) 24	6.3	44.9.15 (発生より 7箇月2日)	止水注入 周壁導坑 直進	安山岩破 砕帯 (F15断層)
	作業坑	16K890m00 (78m、102m)	49.12.5 (3)	6	3.6	130	70	(50.1.17 まで) 36 (正月休みを 除く。)	5.6	50.5.30 (6箇月 25日)	迂回坑	凝灰岩 (玄武岩の貫 入により破碎) (F14断層)
吉岡	作業坑	32K746m85 (58m、134m)	49.1.8 (2)	11	0.3	880	60	(50.2.3まで) 27	11.6	50.1.20 (12箇月 12日)	注入固結 直進	凝灰岩 (砂質) 破碎帯
	作業坑	31K669m95 (76m、128m)	51.5.6 (4)	70	16.0	作業坑 3,015 本坑 1,493	74	(50.7.2まで) 57	4.4	51.10.15 (5箇月 9日)	迂回坑	凝灰岩破碎帯

出典 日本鉄道建設公団『津軽海峡線工事誌』(H2.3)

[防災設備の強化²⁶]

青函トンネルは他のトンネルに比べて長大な海底トンネルであり、さらにトンネル中央部に向けて下り勾配が長く続いていることから、青函トンネル内には2箇所(竜飛/吉岡)に、火災列車を停止させ乗客の避難・誘導及び

消火活動を行う場所(=定点)を設けている。この定点によりトンネルは3分割され、防災上の観点からみれば、トンネルの長さは従来の最長の鉄道トンネルと同程度の長さのトンネルが間をおかず、連続している状態と捉えられるよう工夫されている。

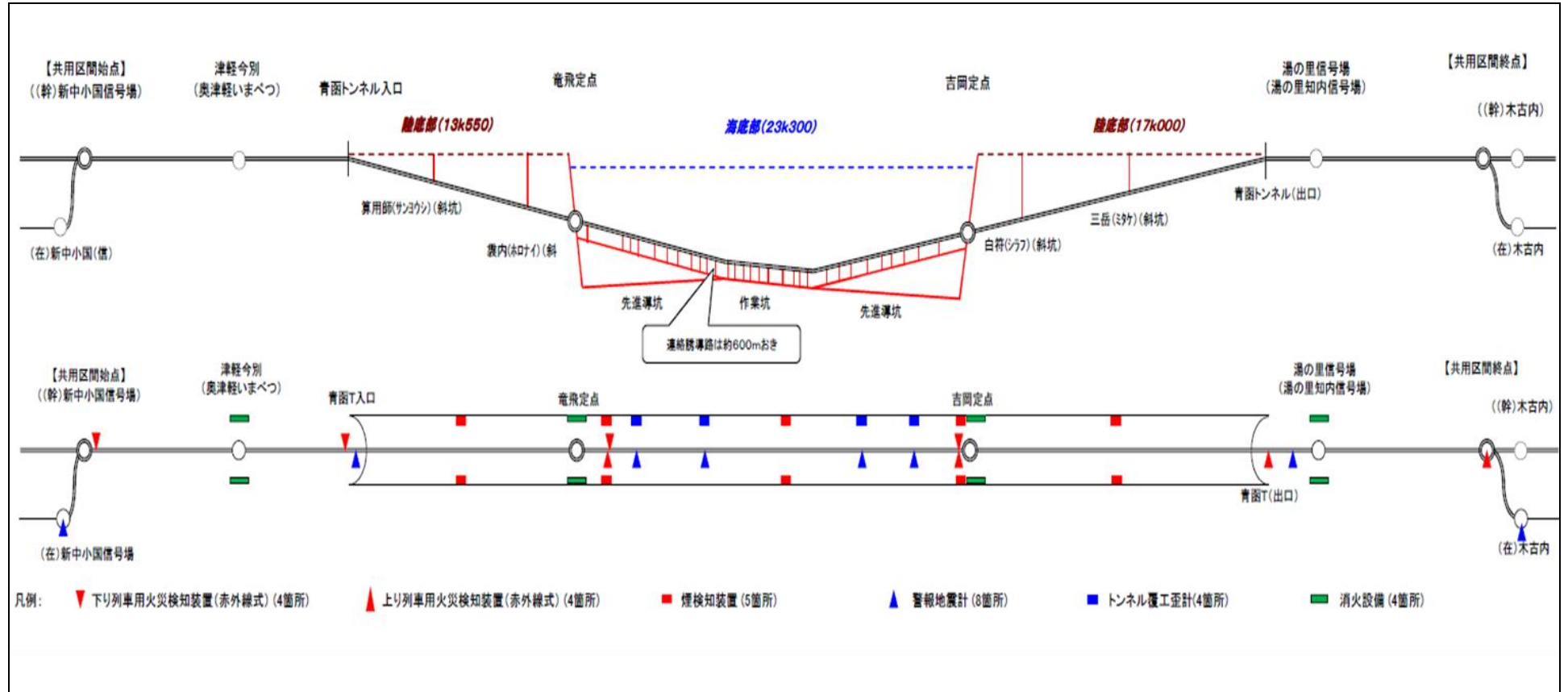
また、列車火災対策としては、赤外線カメラを利用して列車の表面温度を測定することにより火災を検知する赤外線温度式火災検知器や、煙検知器、換気設備、排煙設備等を整備している。

地震対策としては、地震発生時には地震計からの警報によって列車は自動的に停止する方式を採用している。青函トンネル自体は十分な耐震構造になっているが、さらに警報地震計とモニタリングシステム(地震早期検知システム、トンネル覆工歪計、湧水量検知装置)で迅速な状態把握が可能になっている。

青函トンネル内で災害が発生した場合に迅速に対処するために、トンネル内の各種防災情報を函館指令センターに表示して常時監視できる体制を整備している。また函館指令センターから各種防災機器は遠隔制御による直接操作も可能である。

²⁶JR 北海道プレスリリース「青函トンネルにおける防災設備、お客様避難に関する考え方及び現段階での車両調査について」

図 116 青函トンネルの防災設備について



出典 JR 北海道プレスリリース「青函トンネルにおける防災設備、お客様避難に関する考え方及び現段階での車両調査について」

[一部設備の老朽化²⁷]

青函トンネルの設備である列車運転設備(レールや電車線等)、トンネル維持設備(排水ポンプ等)、列車火災検知装置等の安全対策設備は、湿度や空気中の塩分濃度が高い厳しい環境下に設置されている。開業から10年を期に実施した現地調査によって、これら一部設備の老朽化が発覚した。機能保全のために、「鉄道防災事業費補助による青函トンネルの改修事業」が認可され、平成11年から国の補助金2/3とJR北海道の負担金1/3で改修工事が実施された。特に経年による腐食・劣化の進行が確認され、さらに設備の重要性の観点から排水ポンプと列車火災検知装置を優先的に着手した。

²⁷鉄道・運輸機構パンフレット「青函トンネル 新幹線・在来線共用化工事」

4) 青函トンネルの建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

①青函トンネル建設時期におけるリスクマネジメント

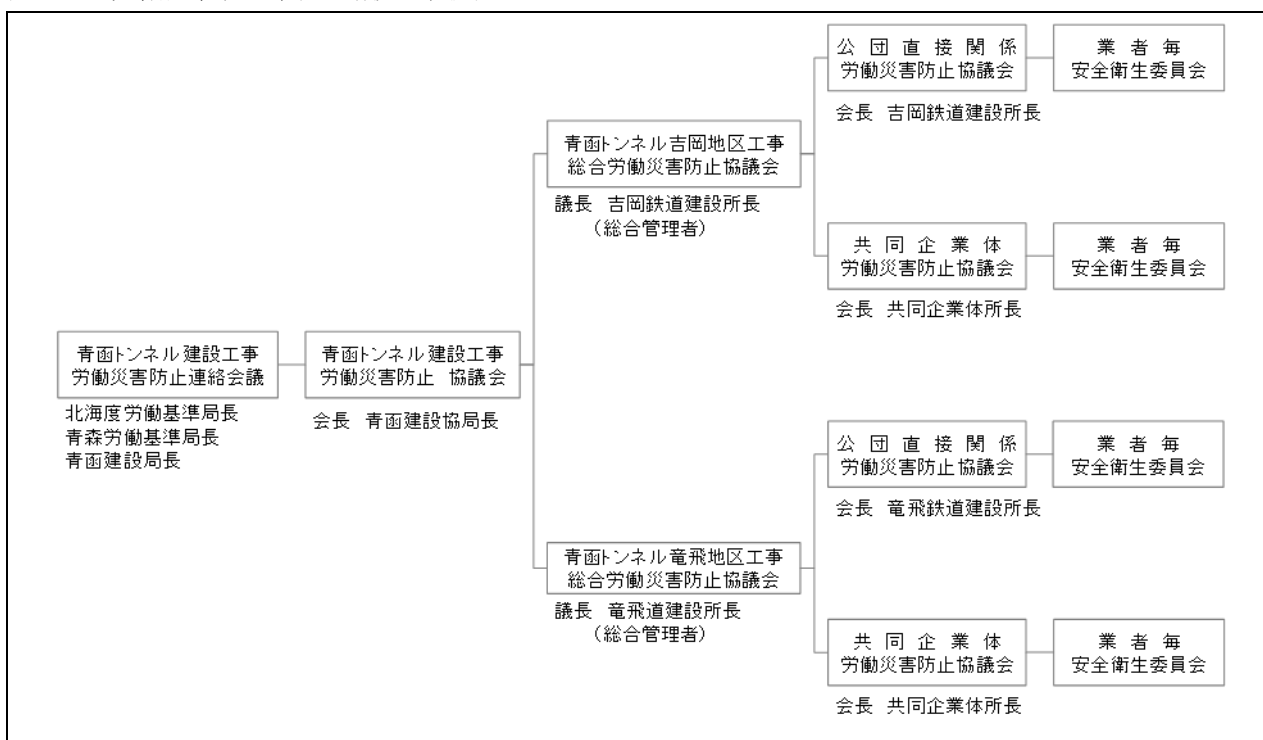
[安全管理体制²⁸]

超大規模建設工事の指定、本工事の開始、労働安全衛生法と関連法規の制定等に伴い、現地においては統括的な安全管理を行うため、労働災害防止関連諸会議を整備し系統的な安全管理を図った。

青函トンネルは長大かつ海底トンネルという前例のない工事であり、事前に多くの問題点を調査・解明する必要があったことから、先進導坑の掘削は日本鉄道建設公団の直轄工事となった。基本的に、公団直轄工事とそれに関連する請負工事が行われる先進導坑については、公団の建設所長の直接指揮下に入り、立坑・作業坑・本坑は工事を請負った共同企業体所長の指揮下に入った。

しかし、共有する設備や競合する作業箇所があるため、労働災害防止のための統制と調整を図るものとして安全衛生管理組織を建設所に設けた。工事終盤には海底部の土木工事と開業設備工事が競合することとなったが、その都度組織体制を変更し対応した。

図 117 労働災害防止関連会議の系統図



出典 日本鉄道建設公団 『津軽海峡線工事誌』 (H2.3)

²⁸日本鉄道建設公団 『津軽海峡線工事誌』 (H2.3)

②青函トンネル運用時期におけるリスクマネジメント

[トンネルの維持管理²⁹]

鉄道・運輸機構は、青函トンネルの建設を行い、地山の状況・構造物の状況等を把握しているため、開業以来 JR 北海道と貸付協定を締結し、トンネル海底部本体の調査・測定を実施している。内空断面調査(本坑・先進導坑・作業坑)、地震防災システムの各種データ収集、湧水化学分析、コンクリート性状試験及び止水注入分析等を行い、トンネルの健全度を測定している。

²⁹鉄道・運輸機構パンフレット「青函トンネル 新幹線・在来線共用化工事」

8.スーパーカミオカンデの概要

1) スーパーカミオカンデの概要

スーパーカミオカンデは、1990年から東京大学宇宙線研究所が建設を開始し、1995年に完成、1996年より運転を開始した世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置である。建設費は約104億円である。

スーパーカミオカンデの検出器は、5万トンの超純粋を蓄えた直径約40m、高さ約40mの円筒形水タンクと、その内壁に設置された光電子増倍管約1万3,000本から構成されており、岐阜県飛騨市神岡鉱山内の地下約1,000mの地点に設置されている。

スーパーカミオカンデは、小柴昌俊先生がノーベル物理学賞を受賞した実験装置カミオカンデの後継装置であり、太陽ニュートリノ、大気ニュートリノなどの観測を通じて、ニュートリノの性質の全容を解明することを主目的としている。スーパーカミオカンデはニュートリノに質量が存在することの決定的な証拠となる「ニュートリノ振動」の直接観測に世界で初めて成功し、大気中のミューニュートリノが500km移動すると消滅、さらに500km移動すると再び現れる波形の振動パターンを示していることを明らかにした等の成果をあげている。

表 72 スーパーカミオカンデの概要

項目	概要
建設時期	1990年～1995年
施設規模	検出器：直径39.3m 高さ57.6m
建設費	約104億円
実施主体	東京大学宇宙線研究所

出典 スーパーカミオカンデ ホームページ

表 73 建設経緯

時期	概要
1986年	スーパーカミオカンデの概念提案
1990年1月	「大型水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置調査委員会」設置
1991年4月	スーパーカミオカンデの建設予算承認
1991年12月	空洞掘削開始(2.5年：～40億円)
1994年6月	空洞掘削完成、水槽建設開始(1年：～14億円)
1995年6月	光電子増倍管(～30億円)取り付け作業等開始(0.5年)
1995年12月	注水開始(0.3年)
1996年4月	スーパーカミオカンデ実験開始

出典 科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会
H22.1.15 資料より NRI 作成

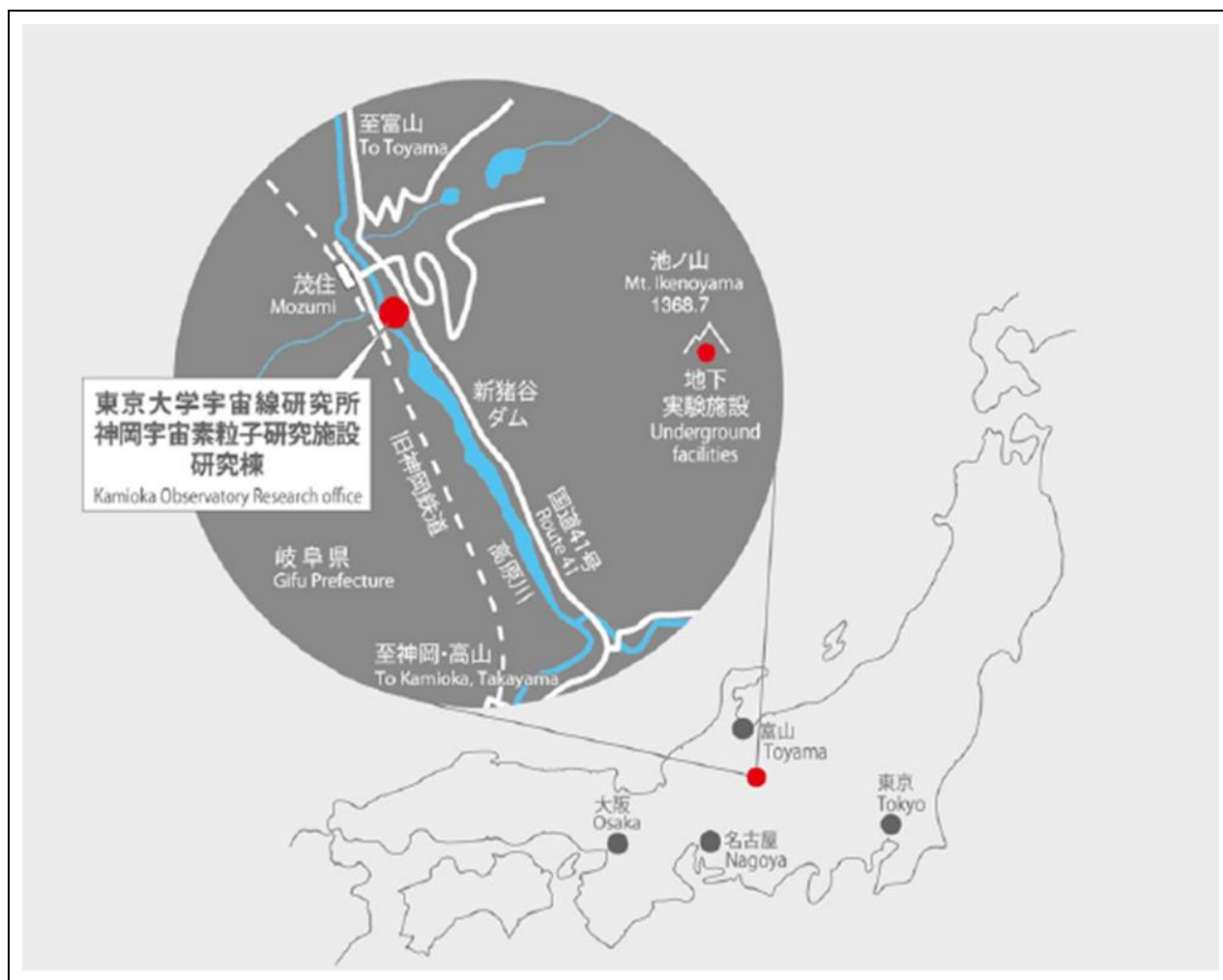
表 74 予算規模

項目	年度	金額
建設費	平成 3 年度～平成 8 年度	104.4 億円
大型水チェレンコフ装置対策費	平成 14 年度	2.5 億円
全面復旧経費	平成 15 年度～平成 18 年度	24.8 億円
運転・実験経費	平成 8 年度～平成 24 年度	82.3 億円
	平成 25 年度～平成 28 年度	26.4 億円

出典 科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会

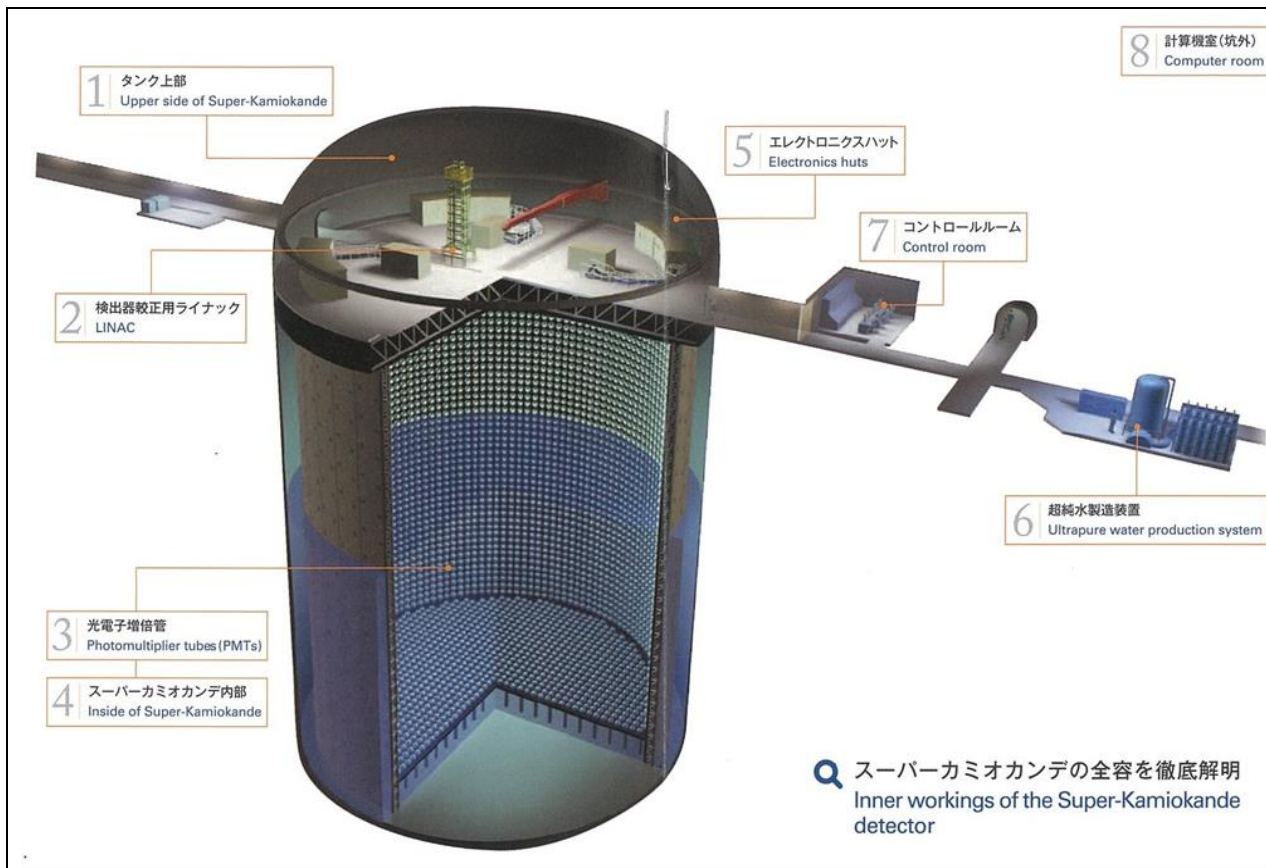
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 H28.12.6 資料より NRI 作成

図 118 スーパーカミオカンデ地下実験施設・東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設位置



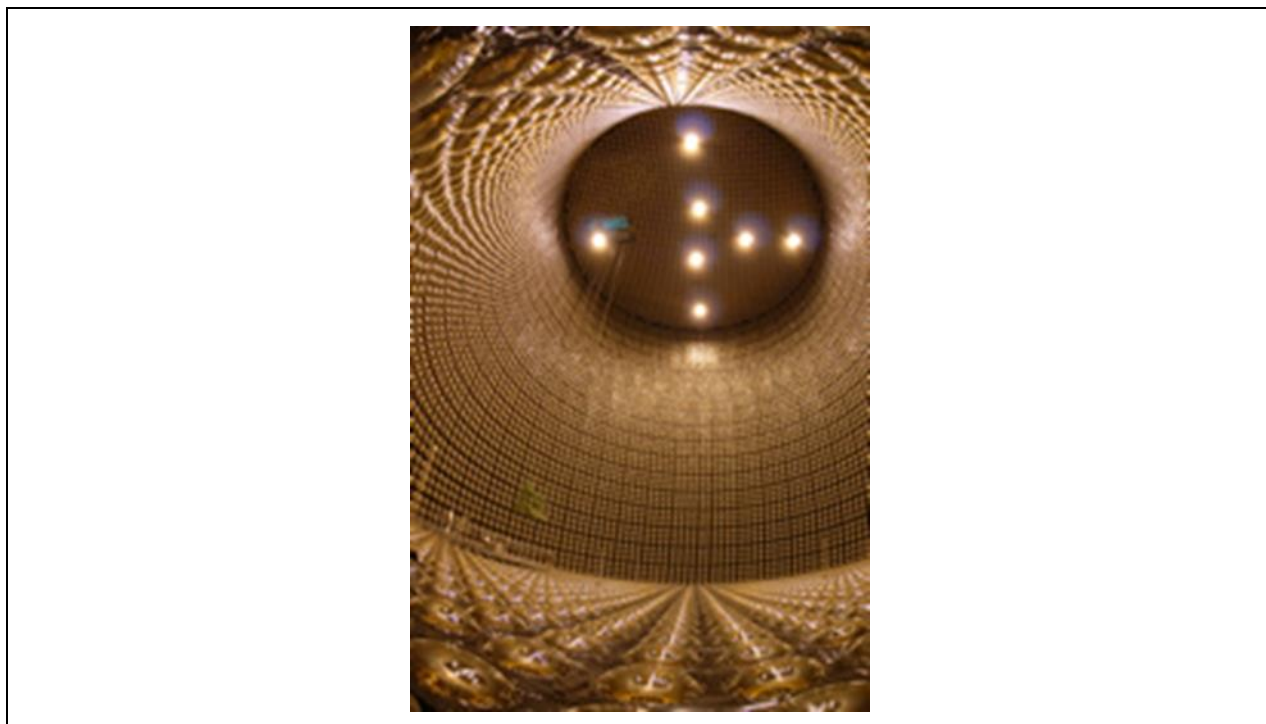
出典 東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設パンフレット

図 119 スーパーカミオカンデ検出器



出典 東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設パンフレット

図 120 スーパーカミオカンデの水タンク内部



出典 スーパーカミオカンデ ホームページ

[実施主体]

スーパーカミオカンデには、東京大学宇宙線研究所をホスト機関として、国内の 13 の大学・研究機関、国外の 7 カ国 22 の大学・研究機関が参加している。2016 年 7 月時点では、総数 146 名の研究者が実験に参加している。

実験装置が設置されている神岡町には、共同利用・共同研究のための研究棟・宿泊棟を備え、現地研究スタッフとの議論や毎日の実験監視当番がスムーズに実施できる体制を整備し、また神岡施設に設置されているデータ解析用コンピュータを用い、リアルタイムでデータ解析を行っており、データに問題が生じた場合には、即座に対応できる体制としている。さらに実験装置の運転状況、データ解析の進捗状況を議論するため、年 2 回程度、全ての研究者が集まる「SKグループ共同研究者会議」を開催している。

多数の研究者が実験に参画できる体制として、共同研究者が神岡外部から自由にコンピュータを利用してデータ解析を可能とする体制とし、また、高速ネットワークを利用したテレビ会議システムを導入し、研究棟、地下実験室など複数の場所に設置することによって、実験監視当番を行っている研究者、装置のメンテナンスを行っている研究者が会議に参加できる体制としている。

表 75 スーパーカミオカンデの参加主体

東京大学宇宙線研究所	日本	29	Stony Brook Univ.	アメリカ	7
東京大学 Kavli IPMU	日本	7	Univ. of Hawaii	アメリカ	3
東京大学理学系研究科	日本	2	Seoul National Univ.	韓国	1
宮城教育大学	日本	1	Chonnam National Univ.	韓国	3
岐阜大学	日本	1	Sungkyunkwan Univ.	韓国	1
京都大学	日本	8	Gwangju Institute of Science and Technology	韓国	1
大阪大学	日本	1	Tsinghua University	中国	3
神戸大学	日本	5	Univ. Autonoma Madrid	スペイン	2
岡山大学	日本	8	National Centre For NR	ポーランド	2
名古屋大学	日本	3	TRIUMF	カナダ	1
高エネルギー加速器研究機構	日本	11	Univ. of British Columbia	カナダ	2
東海大学	日本	2	Univ. of Regina	カナダ	1
福岡工業大学	日本	1	Univ. of Toronto	カナダ	3
静岡福祉大学	日本	1	Imperial College London	イギリス	4
東京工業大学	日本	3	Queen Mary Univ. of London	イギリス	2
Univ. of California. Irvine	アメリカ	8	Univ. of Liverpool	イギリス	3
Boston Univ.	アメリカ	7	Univ. of Oxford	イギリス	1
California State Univ.	アメリカ	2	Univ. of Sheffield	イギリス	2
Duke Univ.	アメリカ	4	合計		146人

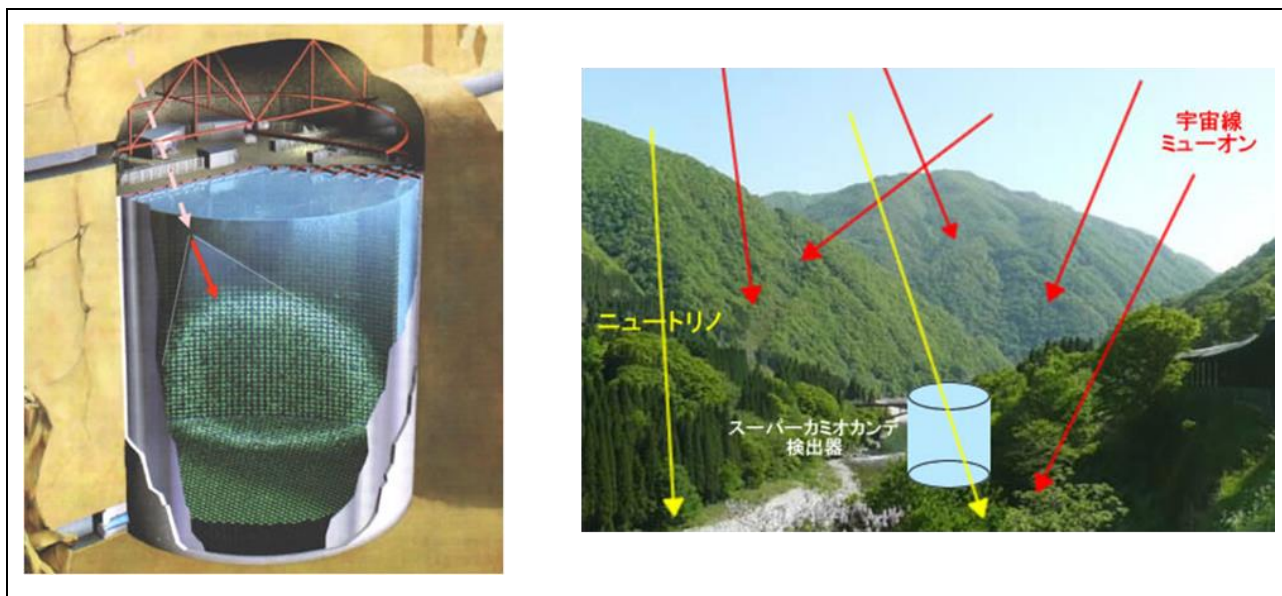
出典 科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会

学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 H28.12.6 資料

[地下に建設する理由]

宇宙から地球に絶えず降り注ぐ主に宇宙線ミュオンがニュートリノ観測の弊害になってしまう。多くの宇宙線ミュオンは地中においてエネルギーを失う性質がある一方、ニュートリノは物質とほとんど反応せず、地中も突き抜ける性質がある。地下深くに検出器を建設する事により、ニュートリノ観測の弊害である宇宙線ミュオンを遮ることが可能である。スーパーカミオカンデは地下 1,000 メートルに建設されており、その地点の宇宙線ミュオンは地表の約 10 万分の1にまで減少している。

図 121 ニュートリノ観測イメージ



出典 スーパーカミオカンデ ホームページ

2) スーパーカミオカンデの建設・運用に係る法的規制等に関する調査分析

スーパーカミオカンデの建設工事においては、鉱山の採掘工事に関する鉱業法・鉱山保安法が適用された。特に、鉱山保安法では「鉱山労働者に対する危害を防止するとともに鉱害を防止し、鉱物資源の合理的開発を図ること」を目的とした法律であり、建設工事では鉱山労働者に対する保安教育の実施や、落盤・崩壊・出水・ガスの突出・ガス又は炭じんの爆発・自然発火及び坑内火災等の危険に対する必要措置を講じること等が求められている。

また、通常の鉱山採掘に加えて、完成後の実験施設には、研究者の出入りや一般人の見学による出入りがあるため、消防法が適用された。

スーパーカミオカンデの建設は、もとより神岡鉱山を採掘し、カミオカンデを建設した三井金属鉱業株式会社が実施した。三井金属鉱業株式会社には、長年、現地において対応してきた鉱山技術や鉱山工事における知見が集積しており、地下実験施設建設に対する法規制面での対応については、大きな問題は無く進められた。

3) スーパーカミオカンデの建設・運用に係るリスクに関する調査分析

① スーパーカミオカンデの建設・運用におけるリスク事象とその対応策の概要

以下では、スーパーカミオカンデの建設・運用の段階において、特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策についての整理を行う。

表 76 スーパーカミオカンデの建設・運用において特に予算や工期等に影響を及ぼした事象とその対応策のまとめ

プロジェクトの段階		予算や工期に影響を及ぼした主な事象	採られた対応策
工事 建設	土木	地下 1,000m における建設工事であったため、巨大空洞掘削による崩壊リスクが想定された。	開口割れ目が少なく、強度が高い岩盤が分布する神岡鉱山を建設地に選定した。さらに、掘削後は、鋼製支保工を 1m 間隔で建込み、吹き付けコンクリートを施工することにより、掘削面の安定化に努めた。
		国内では経験したことがないような大きな幅(40m)となる天井アーチ部を如何にして安定性確保するかが課題となった。	通常の大空洞支保方式に加えて、当時としては施工経験が少なかったが、神岡鉱山では支保効果の有効性を確認していたケーブルボルトを適用して、安定性向上に努めた。
		発破掘削による掘削面周辺の損傷や緩みの発生が懸念された。	特に、天井ドーム部の安定性の向上を図るために、掘削前にケーブルボルトを施工することによって、地盤の緩みの現象に努めた。
		上部から下部へ空洞の掘削が進むにつれて、掘削面からの湧水が増加し始めたため、その後の掘削工事への影響が懸念された。	湧水量を抑制するために、止水グラウトを実施した。
運転		観測開始から 5 年後の光電子増倍管の交換作業時に、過半数の光電子増倍管が破損した。	事故後しばらくは破損を免れた光電子増倍管に衝撃波防止ケースを取り付け、1 つおきに配置し、観測を続けた。その後完全再建工事を実施し、当初とほぼ同数の光電子増倍管を整備した。

出典 NRI 作成

②スーパーカミオカンデの建設・運用において特に対応が必要であったリスク事象とその対応策
[地下 1,000m におけるトンネル建設に伴う地質的リスク]

スーパーカミオカンデは地下 1,000m におけるトンネル建設工事であるため、国内では経験したこともないような直径 39.3m、高さ 57.6m もの巨大な円筒形の空洞の掘削には、空洞の安定性の確保が重要になる。そのために、良好な岩盤が広く分布し、空洞の安定性に不利となるような割れ目や不連続面の分布が少ないことが建設地選定の大きな鍵となる。

スーパーカミオカンデの建設地はカミオカンデと同様の神岡鉱山である。神岡鉱山の地質は、 $100\text{N}/\text{mm}^2$ 強（コンクリートの 5 倍程度）の強度を有する飛騨片麻岩であり、地下 1,000m の深さに巨大な空洞を掘削した場合でも、周辺の応力集中には耐えることができる。さらに岩盤掘削時に発生する空想周辺の緩みや不連続面や割れ目に沿った岩盤の滑落を防ぐために、掘削後、1m 間隔で立て込まれた鋼製支保工と吹きつけコンクリートで空洞の安定性を向上させた。

[部品破損による施設機能不全リスク]

観測開始から5年後の2001年7月、光電子増倍管の更新のため、タンク内の水を排水し、増倍管の交換作業が行われた。交換作業後、タンクへの注水が行われたが、同年11月、タンク底面の光電子増倍管が破損する事故が発生した。光電子増倍管は真空であるため、破損した増倍管の周囲に衝撃波が発生し、他の増倍管も連鎖的に破損した。事故の結果、内水槽の増倍管は11,146本中、過半数の6,777本、外水槽の増倍管は1,100本が破損した。

事故後、破損を免れた5,182本の内水槽電子増倍管を1つおきに配置し、さらに、FRPとアクリルからなる衝撃波防止ケースを取り付けることにより再建し、観測を再開した。2005年10月になると完全再建作業が開始され、内水槽の増倍管の本数は、当初とほぼ同数の11,129本となった。事故前の観測時期をSK-I、事故の後の観測時期をSK-II、完全再建後をSK-IIIと呼ぶ。

図 122 スーパーカミオカンデ 電子増倍管数

	SK-I	SK-II	SK-III	SK-IV
データ取得開始	1996年4月	2002年10月	2006年6月	2008年9月
データ取得終了	2001年7月	2005年10月	2008年9月	継続中
衝撃波防止ケース	なし	あり	あり	あり
内水槽のPMT数	11,146	5,182	11,129	11,129
外水槽のPMT数	1,885	1,885	1,885	1,885
内水槽光電被覆率	40%	19%	40%	40%
エネルギー閾値	4.5MeV	6.5MeV	4.0MeV	3.5MeV

出典 スーパーカミオカンデ HP

4) スーパーカミオカンデの建設・運用に係るリスクマネジメントに関する調査分析

[安全管理体制³⁰]

スーパーカミオカンデでは、研究施設が地下に設置されているため、それに応じた安全対策が講じられている。施設内では、研究者や職員の移動を常にモニタリングできるように、入出坑管理システムを導入している。また、災害等が発生した場合、坑内エリア単位で避難することにより、迅速に人数把握等ができるようにしている。

さらに、火災時の避難経路の確保のため、通常入坑する跡津通洞以外に、茂住通洞を整備し、酸素濃度が低下した場合に、坑外でも検知できるように酸素モニターを設置すると共に、消防等に迅速に通報できる体制を構築している。このほか、避難訓練を年に1度実施したり、坑内における安全管理の情報を、実験グループや鉱山を監視する神岡工業株式会社に共有するための安全協議会を月に1度実施したりすることで、安全に関する確認や検討を実施している。

[坑内環境保全]

神岡鉱山は1956～57年頃をピークに発生した公害病のイタイイタイ病の原因となった場所であるという背景があることから環境配慮への意識が強く、例えば、排気ガス対策が施されている低公害バスの入坑のみが認められている。

³⁰科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会 H28.12.6 資料

9.その他で対象としたプロジェクト

高山祭りミュージアム

①施設概要

高山祭りミュージアムとは、岐阜県高山市に建設され 1997 年に完成した岩盤地下空洞を利用した国内初の本格的な地下式美術館である。高山市で催される高山祭りは、京都の祇園祭り・秩父の夜祭りとともに“日本三大美祭り”の一つとして知られており、高山祭りで使用される祭屋台や御輿、屏風や大太鼓などの美術工芸品が展示されている。

表 77 高山祭りミュージアムの概要

項目	概要
実施主体	高山市(岐阜県)
概要及び調査対象とした理由	岐阜県高山市に建設され 1997 年に完成した岩盤地下空洞を利用した国内初の本格的な地下式美術館を建設。 岩盤地下空洞において建築基準法に準拠した設計により施設が整備されたことから選定。
完成時期	1997 年
施設規模	・アプローチトンネル (全長 70m) ・半円球ドーム状展示大空間 (直径 40.5m、高さ 20m)
建設費	-

出典 飛騨高山 まつりの森ホームページ、地盤システム研究所等より NRI 作成

図 1 展示品(祭屋台/大太鼓)

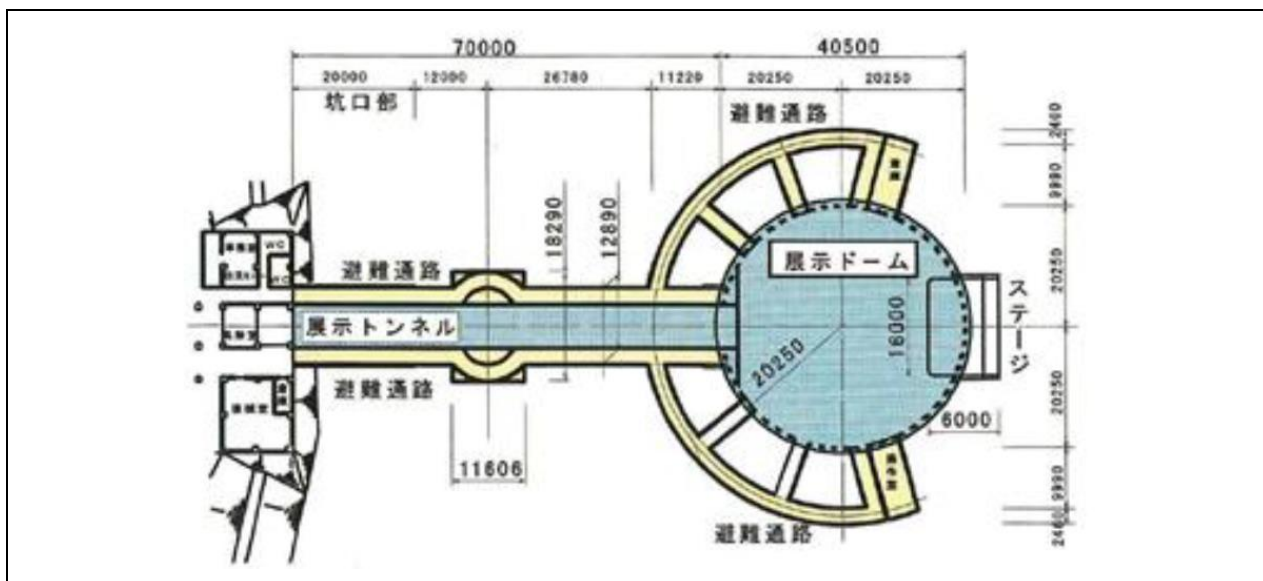


出典 飛騨高山 まつりの森ホームページ

②施設構造

高山祭りミュージアムの構造は、地表部の管理施設、地表から水平に入る 70m のトンネル状の展示空間(以後、展示トンネル部と呼ぶ)、直径 40.5m の半球状の展示空間(以後、展示ドーム部と呼ぶ)および周辺の避難坑からなっている。

図 2 地下式ミュージアムの平面図



出典 地盤システム研究所

③工事の特徴(地震対策)³¹

地上に比べ、地下空間は地震の影響を受けづらいため、地下発電所などに代表される岩盤地下空洞では、通常設計段階において、地震時の安全性が検討されることは少ない。しかし高山祭りミュージアムは国内で始めて地下大空洞に本格的に不特定多数の一般観客が入場する施設であったことから、安全管理面に十分配慮する必要があり、建築基準法に準拠した設計が求められた。旧建築基準法 38 条の規定を受けて、平成 6 年 4 月に(財)日本建築センターに設置された高山屋台洞構造評定委員会と高山屋台洞防災評定委員会によって審査され、平成 6 年 10 月に建築構造物としての安全性が認められ、建設大臣の認定を取得するに至った。

図 3 旧建築基準法第条に基づく認定申請フロー



出典 近久博志 第3回 ILC 示方書策定小委員会資料「高山祭りミュージアムの設計概要」(2010年8月)

※行政的な取り扱いについては、特定行政庁と十分に事前の協議を行う。

※申請者は、認定書を添付して、特定行政庁に確認申請を行う。

³¹国際リニアコライダー施設(ILC)の土木工事に関するガイドライン(2014年3月/土木学会 岩盤力学委員会)