

# ILCのコストについて学んで考える

第10回ILCを学び考える会

2014.10.21

4号館1階セミナーホール

設楽哲夫(KEK加速器研究施設)

# ILC Technical Design Report

Volume 3 – Accelerator Part II: Baseline Design

## 第15章 Value 評価の概略

資料掲載ページ:

<https://www.linearcollider.org/ILC/Publications/Technical-Design-Report>

コスト及びコスト基準の詳細データ:

電子文書管理システム(EDMS)の技術設計文書ファイルで管理

\* コスト見積という性格上、コスト詳細については守秘義務が課されている。

# 第15章 Value 評価の章立て

15.1 はじめに(概略説明)

15.2 目標

15.3 範囲

15.4 Value 評価法

15.5 コストガイドラインと経験曲線

15.6 算定と算定方法

15.7 コスト基準

15.8 建設におけるValue/Labor 評価

15.9 コストの不確定性、信頼度、及びコストプレミアム

15.10 Value とLabor のタイムプロファイル

15.11 運転におけるValue/Labor 評価

15.12 アップグレードとステー징オプションに関するValue/Labor 評価

## 15.2 目標

TDR のValue 評価:

ILC 建設に必要なリソースを、包括的かつ十分なデータに基づいて見積る。プロジェクトは、世界中の国・地域の協力のもと、資金出資と現物出資の組み合わせで実施されるものとする。

- 現物出資 (in-kind) を通して ILC プロジェクトへの貢献を検討している国・地域の財務担当機関 (funding agencies) が ILC 建設に必要なリソースの性質や範囲を評価するための資料となる。
- 建設前フェーズにおけるバリューエンジニアリング (コスト工学) や研究開発 (R&D) を通じて、プロジェクトのさらなるコスト合理化に利用できるコスト要因及びコストトレードオフに関する詳細な情報を提供するための資料となる。

表15.1 本算定に含まれる項目と除外される項目

含まれる項目	除外される項目
500 GeV 加速器 1 基の建設、設置、ハードウェアコミッショニングのコスト	ビームコミッショニング、運転、解体
製造業者による工業化技術設計、建設管理	研究開発 (R&D) やプロトタイプシステム試験のように、建設開始前に完了することのできるエンジニアリング、デザイン、その他の準備活動。
トンネル、地上建屋群、アクセスシャフト、その他すべての CFS の建設	建設前コスト (例: 建築工学、設計、概念設計図作成、コンポーネント及びシステム設計)、地上土地購入と地下地役権取得のためのコスト
測定器の組立用施設、地下実験ホール、測定器アクセスシャフトの建設費	実験用測定器
運営管理スタッフを含む直接労務 (explicit Labor)	税金、偶発事項と物価上昇
500 GeV 加速器の建設後は改修が困難な 1 TeV アップグレード用のコスト (例: ビームダンプ、BDS 長等)	追加コスト (現物出資の管理に関連する潜在的なオーバーヘッド等)

# 15.4 Value 評価法

- コスト評価はすべての潜在的協力機関にとって有用なものではない。
- 潜在的協力機関は、大型プロジェクトのコストを計画・算定するにあたって、異なる通貨、慣習、ルールを用いる。
- 現物出資の形態で参加する機関が公平に貢献を分担するためには、プロジェクトのコスト算定は、何か特定の会計システムではなく、すべての協力機関に対応可能なシステムにする必要がある。
- 本コスト評価では、国際熱核融合実験炉 (ITER) や大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) 実験等でも採用され、国際プロジェクトの標準的なコスト評価法となっている「Value 評価法」用いる。

# 15.4.1 Value 評価の定義

## 「Value 評価法」の2つの要素

Value({国際協力}通貨単位): 例—超伝導空洞の見積

- コンポーネントのValueは、要求仕様を満たす必要数量を調達するための妥当な最低額と定義し、主要工業国の製造コストを基に算定する。
- 製造コストは算定年の通貨をベースとする(購入年には修正しない)。
- すべての財務担当機関(funding agencies)が参考にできるよう、事実上最低限のコスト見積(effectively the barest cost estimate)となっている。
- 各国・地域は、その基準となる評価額に、その国・地域で通常コスト見積を行う際に含めるようなその他のコスト項目等を追加することができる。

注) 研究開発(R&D)費、建設前／建設後のコスト、ビームコミッションング費、運転費、税金、予備コストは含まない。

Labor(人・時間単位): 例—機器設置の見積

- 直接労務(explicit Labor)を定義するもので、主に協力機関から提供される人員や、業者から調達する人員を指す。
- 調達コストに間接的に含まれる人件費や、業者がコンポーネントを製造する際の人件費など、非直接的な労務(間接労務)とは区別し、間接労務費はValueに含まれるものとする。

## 15.4.2 TDR における共通仮想通貨「ILCU」の定義

- 2007年公開の概念設計書(RDR)のILCU:2007年1月1日時点の米ドルに相当すると定義。他の通貨からILCUへの換算は、それ以前の5年間の米ドルの平均為替レートを基準にした。(RDRにおけるILCUはそれぞれ0.8333ユーロ、116.7円)
- 為替レートは異なる通貨間の供給と需要に強く影響され、通貨の供給と需要は単に国際貿易の需要によってではなく国家間の資本移動や通貨投機のような要因に影響されるため、特に金融危機に関連した金融緩和など大きな変動があるときには為替レートは必ずしも異なる国・地域で製造された同一製品の相対価値を表すとは限らない。従ってTDRのValue評価で為替レートを基準に用いるのには問題がある。
- 経済協力開発機構(OECD)とユーロスタット(欧州委員会の統計部局)の調査機関による広範な調査を通じてまとめられた、異なる国における同一商品または同一サービスのそれぞれの国内価格の比率に基づく相対価格「購買力平価(PPP)」を導入してTDRでのILCUを定義する。

## 15.4.2.4 TDRにおけるILCU の定義

- TDR ILCU: 2012 年 1 月 1 日時点の米ドルに相当すると定義
- 米ドル以外の通貨から ILCU への評価額の換算: それらの通貨の米ドルに対する PPP 指数を使用

### 例外) 空洞用の超伝導材料

超伝導加速空洞用ニオブ (RRR-ニオブ) の原材料を{大量}供給できるサプライヤは世界に一社しかいないため、当該項目は国際市場で購入すべきものと考え、これに関しては 2012 年 1 月時点の為替レートを採用。

表 15.2. ILCU と各通貨間の通貨換算係数 (2012 年 1 月時点)。コスト要素を ILCU から指定通貨に換算するには、コスト要素の種類に適切な係数を乗じる。

コスト要素の種類	ILCU→米ドル	ILCU→ユーロ	ILCU→円	ILCU→スイスフラン
土木 (PPP)	1	0.939	109.3	1.303
機械/装置 (PPP)	1	0.923	127.3	1.480
超伝導材料 (EX)	1	0.776	76.9	0.939

# 15.5 コストガイドラインと経験曲線

## 15.5.1 全体のガイドラインー1

- 各コスト要素の評価額は平均値(中央値)に相当する。言い換えれば、Value 評価額はコスト累積分布曲線における50%の確率と一致する。したがって、もしある項目について別個に何度も国際低価格入札を行った場合は、最低応札額の半分は平均値を下回り、残り半分は上回ると考えられる。サプライヤが限定されているため、いくつもの応札から平均値をとるという方法は実際的ではない。TDR では、コスト要素の評価には利用できる情報源(例えば業者見積、エンジニアリング費用見積(engineering estimate)、工業量産化検討など)を活用して、最も信頼性の高い平均入札価格を算定している。
- 技術性能、信頼性、獲得コスト、運転コスト(10年の運転期間)の最適なバランスを考慮したTDR 評価における各コンポーネント/サブシステムの仕様と数量。
- コンポーネントまたはサブシステムのValue 評価額は、PPP に基づき算出する妥当と評価される最低国際調達額であり、建設スケジュールに即した調達時間、仕様、数量において有効かつ妥当なものである。

# 15.5 コストガイドラインと経験曲線

## 15.5.1 全体のガイドラインー2

- コスト算定では、一般調達すべてに最低二社の業者を想定。項目の調達数量によってコストモデルは異なる。
- Value 評価額には、工学設計、受理点検(EDIA)、品質管理、品質保証、技術試験及び製造に関わる製造者の間接労務が含まれている。
- コンポーネントまたはサブシステムの製造、受入、試験に必要な設備、機材、インフラが協力機関またはその他の関連機関に存在しないか利用不可な場合、それらはコンポーネント/サブシステムのValue に含まれるものとする。また輸送コストもValue に含まれるものとする。

# 15.5 コストガイドラインと経験曲線

## 15.5.1 全体のガイドラインー3

- スペア機材は、運転や信頼性維持に必要（TDR 記載のとおり）であり、かつ加速器施設に設置されたもののみ算定に含まれる。
- 直接労務(explicit Labor) (ILC、協力研究施設または関連機関の人員、または業者から調達した人員) には、例えば、入札一式準備のための最終工学設計(建設開始後)、契約実務、工学活動の継続、業者との調整連絡、受理点検、品質保証、搬入/設置、システムインテグレーション、アライメント、初期点検(ビームなし)などの活動が含まれる。ビームコミッショニングは含まれない。これらの直接労務(explicit Labor)は人時単位で、項目の算定額とは別個に算定されている。人時間から人年への換算は、年間時間数を1,700時間で計算する。主な直接労務に関わる所要人員には、エンジニア、科学者、技術スタッフ及び運営スタッフの4つのカテゴリーがある。

# 15.5.2 特定のガイドライン

## 15.5.2.1 加速空洞とクライオモジュール

- 空洞の製造費は、最小許容基準のビルド・トゥー・プリント(build-to-print)生産方式仕様による業者製造に基づくものとし、真空リーク試験、室温RFチューニング(room temperature RF tuning)、「高圧ガス設備」製造に伴う試験(high pressure code test)等を含むが、加速勾配性能の保証は必要ない。超伝導材料はプロジェクト側から業者に提供するものとする。
- すべての空洞は垂直テストスタンドで性能試験を行うが、空洞及び四重極磁石の試験、品質保証、カプラのハイパワープロセスは、プロジェクト及び協力機関の責任下にあり、その作業は直接労務(explicit Labor)に含まれるものとする。
- クライオモジュールの製造/組立もビルド・トゥー・プリント生産方式の業者製造とする。
- 加速空洞とクライオモジュールの統合性能はプロジェクト及び協力機関が保証するものとする。クライオモジュールのおよそ3分の1は冷却・通電を含む総合試験を実施する。これに要する試験と品質管理作業は直接労務(explicit Labor)に含まれる。

# 15.5.2 特定のガイドライン

## 15.5.2.2 CFS

- 加速器の共通設計は1つだけだが、サイトの地形的な違いによりシャフトやホールの位置、トンネル長などは多少異なるものとなる。
- CFSにかかるコストはサイト特有のものであるため、サンプルサイト毎に算定している(アメリカ、ヨーロッパ、アジアの各地域)。
- 算定は慎重な検討のもとに行われており、例えば異なる地質や地形、電力、冷却水、その他の利用可能性等を考慮している。
- 地上面土地と地下地役権のコストや、現地のルールによる現地特有のコスト等は含まれていない。

# 15.5.3 経験(習熟)曲線

- コスト基準がILCに必要な設備数よりも少ない数に対応している場合は、ILCに必要な各項目の数量に対応するValueを、「クロフォード」経験曲線に基づく割引率(習熟率)を用いてスケールメリットを算定した。
- 経験曲線を用いて割引率(生産量的習熟率)を導き出す場合、経験曲線勾配の選択に注意した。
- コンポーネントのための工業量産化検討を特に行っていない場合(あるいは適切な生産量で見積もった業者見積がない場合)は、予想上限(95%)の経験曲線勾配を選択。
- 業者から調達する数量に対するコスト基準が示されている場合には、経験曲線は用いない。(例:空洞共振器の製造、クライオモジュール組立の工業量産化検討、クライストロンの業者見積等)

Table 2. Typical learning curve slopes [20].

Manufacturing process or item	Range of learning curve slopes
Raw materials	93-96%
Repetitive electronics manufacturing	90-95%
Repetitive machining or punch-press operations	90-95%
Repetitive welding operations	90%
Purchased parts	85-88%
Repetitive clerical operations	75-85%
Construction operations	70-90%

# 15.6 算定と算定方法

- RDR(2007年)においてILC一式のValue評価を行った。
- その後、バリューエンジニアリング(コスト工学)、設計開発、コンポーネントR&Dを通して、コスト効果の高い加速器設計へと進化を遂げ、多くのコンポーネントではさらに成熟したコンセプトが生まれた。
- TDRでは、CFS、超伝導空洞、クライオモジュール、LバンドハイレベルRFシステム、低温設備に関しては、新たなValue評価を行った。
- TDRのダンピングリング設計はRDRからかなり変更があったため、ダンピングリングの主要構成要素については再度評価を行った。同様に陽電子源の大部分も再度評価を行った。
- プロジェクトコスト全体の約75%は新たな評価額で占められている。
- 残りの約25%に関しては、RDRにおける各コンポーネントのValueと直接労務(explicit Labor)の評価額を採用している。個々のコストは、地域的インフレ指数をもとに、RDR参照日からTDR参照日に修正し、さらにPPP指数を用いて2012年時点でのILCUに換算している。

## 15.7 コスト算出ベース

- 加速空洞とクライオモジュールに関しては、コストに占める比率が大きいこともあり、TDR でも新たに算出している。採用したコスト算出ベースについて、概念設計書(RDR)やその他のコスト情報も示しながら解説している。
- コストに占める比率が次に大きいCFS の主要項目についても、TDR でも新たに算出している。3 地域のサイトにおける土木工事に関するコストベースやサイト特有の要因による地域間の差異、さらにはアジア及びアメリカのサイトにおける標準的な電力、機械、安全システム、ハンドリングシステム(handling systems)、測量やアライメントのコストベースについて解説している。
- LバンドハイレベルRF システムに関しては、平地/山岳サイトそれぞれの地形におけるデザインの違いを考慮したコストベースを示している。
- 搬入/設置(installation)、冷凍機、磁石、電源、真空、各種設備、制御系、計算インフラ、ハイレベルRF システム、運営・管理、その他の加速器特有のシステムなど、技術/運転関連におけるコストベースについても詳述している。

# 15.7.1 加速空洞とクライオモジュール

- 加速空洞とクライオモジュールはILC プロジェクトコスト全体のうち相当の部分(約3分の1)を占めている。RDRではTESLA TDRのコスト研究をもとにしていたが、TDRでのコスト評価によってより多様な成熟したコスト評価を可能にする二つの進展があった。
  - 3つの地域で行われてきた相当量の研究開発による広範な国際的な経験基盤の存在
  - ユーロピアンXFEL(EXFEL)のための調達からの広範な経験
- 空洞とクライオモジュールのコスト評価は、TDRはRDRよりおよそ1.7倍高い。この評価で参考とした研究開発と調達経験のベースは以下、
  - EXFELプロジェクト用に作られた空洞の調達実績
  - 空洞共振器の製作と処理に経験のある業者による工業量産化検討
  - クライオモジュールの組み立てに見識を認定された業者による工業量産化検討
- 四重極磁石のある8空洞クライオモジュールの主要なコスト要因の合計は、TDRコスト評価は実際のEXFEL調達コストの約72%で、約28%の削減である。全体の削減の約16%は数量割引によるもので、95%の経験曲線をもとにしている。残りの12%は主に工業量産化検討による結果から生まれた費用削減による。

# 空洞とクライオモジュールの重要なコスト要因とコストベース

項目	TDR コスト基準
超伝導材料	EXFEL 調達 <sup>†</sup>
空洞共振器	工業量産化検討
パワーカプラ	EXFEL 調達 <sup>†</sup>
チューナー	EXFEL 調達 <sup>†</sup>
ヘリウムベッセル	EXFEL 調達 <sup>†</sup>
磁石パッケージ	業者の説明
クライオスタット材料	EXFEL 調達 <sup>†</sup>
クライオモジュール組立	工業量産化検討

<sup>†</sup> 割引は95%の経験曲線をもとにしている

表15.4 空洞とクライオモジュールのコスト要因:TDR コスト基準のサマリー  
ほとんどの項目において、TDR コスト評価は、EXFEL での調達実績をもとに、10 倍規模の調達数増加に伴う割引数量割引(95%の経験曲線をベースにした)を考慮して行われている。空洞共振器では、TDR コスト評価は直接的な業者の見積をもとにしている。クライオモジュール組み立てでは、TDR 評価は再度経験豊かな企業によって行われた精細な工業量産化検討をもとにしている。

## 15.7.1.1.2 空洞共振器

- 製作及び化学処理のコスト情報源: EXFEL 調達および三つの工業量産化検討
- 採用コスト評価: 空洞数9,000(と18,000)の生産を前提とする工業量産化検討
  
- 検討の前提
  1. 作業範囲; 空洞製作と化学処理、ヘリウムベッセルへの空洞の溶接
  2. ふたつの業者から調達(製造インフラも別々)
  3. 3年の立ち上げ期間(1年間のプレシリーズ空洞製造を含む)
  4. 2.67年の一環生産スケジュール
  5. 立ち下げ期間における10%のインフラリカバリ費用
  6. 空洞製作と化学処理は90%の歩留まり(必要総数は17,804空洞)
  7. 20%の空洞(3,561)には2回目の化学処理を施す

参考) ふたつの異なる空洞数の工業量産化検討で得られる実効的な経験曲線勾配  
空洞の機械製作: 87%、空洞の化学処理: 89%

#### 15.7.1.1.3 空洞検査

- 採用コスト評価: FNAL のスタッフにより行われたRDRのコスト検討(2007年)
- 空洞の合計数: 21,365
- 労務は直接労務(explicit Labor)に分類

#### 15.7.1.1.4 パワーカプラ

- コスト情報源: FNAL-CM3 とEXFEL の調達実績、工業量産化検討(業者、2008年)
- 採用TDRコスト: EXFEL の調達実績
- 必要カプラ数: 16,024
- 95%経験曲線を使用(割引率は16%)

#### 15.7.1.1.5 カプラプロセッシング

- コスト情報源: EXFEL のカプラプロセッシング経験、工業化検討(業者、2008年)
- 採用コスト評価: EXFEL のカプラプロセッシング経験をスケーリング
- 労務は直接労務(explicit Labor)に分類

#### 15.7.1.1.6 チューナー

- コスト情報源：FNAL-CM3 とEXFEL の調達実績、工業量産化検討（2012年）

##### ➤ 採用コスト評価：EXFEL の調達実績

- 必要チューナー数：16,024
- コストには機械部品、モータードライブ、圧電素子を含む
- 95%経験曲線を使用（割引率は16%）

注）EXFEL コストはSaclay/DESY形、FNAL-CM3 と工業量産化検討コストはブレードチューナー形で見積もった。（TDR ベースラインはブレードチューナー形を採用）

#### 15.7.1.1.7 ヘリウムベッセル

- コスト情報源：FNAL-CM3 とEXFEL の調達実績、いくつかの工業量産化検討

##### ➤ 採用したTDR コスト評価のベース：EXFEL の調達実績

- 必要ベッセル数：17,804（垂直テストを行った空洞を内蔵するため）
- 95%経験曲線を使用（割引は16%）

#### 15.7.1.1.8 マグネティックシールド

##### ➤ 採用コスト基準：最近の工業量産化検討（業者の見積）

- 必要数：17,804（垂直テストを行う空洞数に対応）

## 15.7.1.2 四重極磁石パッケージ

- コスト情報源: FNAL-CM3 とEXFEL の調達実績、業者による工業量産化検討の結果、FNAL スタッフによるILC コスト検討、およびTDR 設計に対応した伝導冷却方式のマグネットパッケージ300 または600 個の製造を想定した業者の見積
- 採用したコストベース: 伝導冷却磁石は業者によるコスト見積(300 個用)、検収作業はFNAL におけるILC コスト検討
- 必要磁石パッケージ総量: 673
- パッケージには超伝導四重極磁石と補正用ステアリング磁石が含まれる。
- 電流リードと関連ハードウェアが付随
- 検収作業は直接労務(explicit Labor)に分類

注)ビームポジションモニタはインストラメンテーションに含まれている。

## 15.7.1.3 クライオモジュール

### 15.7.1.3.1 クライオモジュールEDIA

- 採用コストベース: FNAL のILC コスト検討(エンジニアリング算定)
- Labor(労務)として分類

### 15.7.1.3.2 クライオスタット材料

- コスト情報源: FNAL-CM3 とEXFEL の調達実績、FNAL のILC コスト検討、業者の工業量産化検討、業者からの見積
- 採用コストベース: EXFEL の調達実績
- クライオモジュールの必要数: 1,855
- XFEL とILC デザインの長さの違いを考慮して調達コストは5%スケールアップ
- 95%経験曲線を使用(割引率は15%)

## 15.7.1.3.3 クライオモジュールの組み立て

- コスト情報源: EXFEL の調達実績、1950 と650 の両方のクライオモジュール数に対するFNAL のILC コスト検討及び経験のある業者による工業量産化検討
- 採用コストベース: 工業量産化検討(650 空洞、3つの業者からの調達に対応)
- 合計数: 1,948(必要数は1,855で、不具合発生時の追加の5%の再作業を仮定)
- 2.6年の立ち上げ期間と、それに続く3.5年のクライオモジュール製造を設定
- 3カ所の組み立てサイトにおけるすべての作業人員とインフラが含まれる。
- ランプアップとランプダウン費用は含まれるが、インフラの復旧費用は含まない。
- 作業には、カプラとチューナーをヘリウムベッセルに組み立てて行く過程が含まれる。
- ヘリウムベッセルは、超伝導空洞、磁気シールド、四重極磁石のストリング組み立てと位置調整が行われ、真空ベッセルとしての組み立てが完成したもの。

参考) 量産化検討から得られた実効的な経験曲線勾配: 89% (Labor)

# 空洞とクライオモジュールのコスト算定ベースのまとめ

表15.7  
空洞とクライオモジュールのValue ベース

- a 95%経験曲線をもとに16%割引されている
- b 全収率90%を前提にしている。
- c 80%の歩留まり率を前提にしている。
- d 95%経験曲線をもとに6%割引されている。
- e 95%経験曲線をもとに15%割引されている。
- f 再作業を見込み基準より5%多いことを前提としている。
- g CM's の38.3%が検査されていることを前提としている。
- h 共同ラボにおける既存施設のメンテナンスとアップグレード費用は算定施設費用の50%として計算

サブコンポーネント	基準タイプ	基準ソース(日)	個数
超伝導材料	調達 <sup>a</sup>	EXFEL(2011)	17804 <sup>b</sup>
空洞製造	工業量産化検討	有資格業者	17804 <sup>b</sup>
空洞の化学プロセッシング	工業量産化検討	有資格業者	21365 <sup>c</sup>
空洞検収	エンジニアリング算定	FNAL(2007)	21365 <sup>c</sup>
パワーカプラ	調達 <sup>a</sup>	EXFEL(2011)	16024
パワーカプラプロセッシング	エンジニアリング算定	有資格業者	16024
チューナー	調達 <sup>a</sup>	EXFEL(2011)	16024
ヘリウムベッセル	調達 <sup>a</sup>	EXFEL(2011)	17804 <sup>b</sup>
マグネティックシールド	業者見積 <sup>d</sup>	有資格業者	17804 <sup>b</sup>
空洞の運送及び取扱	エンジニアリング算定	FNAL(2007)	21365 <sup>c</sup>
マグネットシステム	調達 <sup>a</sup>	有資格業者	673
マグネット条件	エンジニアリング算定	FNAL(2007)	673
クライオスタット材料	調達 <sup>e</sup>	EXFEL(2011)	1855
クライオモジュール組立	工業量産化検討	有資格業者	1948 <sup>f</sup>
クライオモジュール条件	エンジニアリング算定	FNAL(2007)	711 <sup>g</sup>
クライオモジュールの運送及び取扱	エンジニアリング算定	FNAL(2007)	1948 <sup>f</sup>
クライオモジュール真空	調達 <sup>a</sup>	INFN(2007)	1855
空洞製作と化学プロセッシング	工業量産化検討	有資格業者	2
クライオモジュール組立インフラ	工業量産化検討	有資格業者	3
カプラプロセッシングと空洞とクライオモジュールの検査	エンジニアリング算定 <sup>h</sup>	FNAL(2007)	≥ 3

# 空洞とクライオモジュールのコスト算定ベースのまとめ

表15.7  
空洞とクライオモジュールの直接労務(explicit Labor)

+ 80%の歩留まり率を前提にしている。  
 † CM'sの38.3%が検査されていることを前提としている。

タスク	基準タイプ	基準ソース(日)	個数
空洞検収	調達	FNAL 内部コスト研究	21365 <sup>†</sup>
カプラプロセッシング	工業量産化検討	EXFEL (2011)	16024
四重極磁石条件	工業量産化検討	FNAL 内部コスト研究	673
クライオモジュール EDIA	エンジニアリング算定	FNAL 内部コスト研究	1855
クライオモジュール条件	調達	EXFEL (2011)	1855
クライオモジュールハードウェア トンネル内コミッショニング	エンジニアリング算定	GDE (2012)	711 <sup>†</sup>
クライオモジュールシンク EDIA	調達	(INFN からの算定) (2007)	1855

# 15.7.2 L-バンドハイレベル RF システム

- L-バンドハイレベルRF システムの主要コンポーネント
  - ✓ マルチビームクライストロン (MBKs)
  - ✓ モジュレーター
  - ✓ RF 分配・システム
- 平地及び山地サイトで異なるハイレベルRF システム
  - ✓ 平地: クライストロン・クラスター・システム (KCS)
  - ✓ 山地サイト: ディストリビューテッド・クライストロン・システム (DKS)
- 異なる数のクライストロンとモジュレーター、異なるRF 分配・システム
  - ✓ 異なるValue 評価

# 15.7.2.1 クライストロン

## 15.7.2.1. クライストロンチューブ

- コスト情報源：業者見積、EXFEL プロジェクトの調達実績
- 採用コストベース：業者見積；
- DKSの必要数を挟む二種類の数量の見積から、経験曲線パラメーター使ってKCS 及びDKS のコストを算出。
- プロセシングの労力は全費用が含まれる。
- プロセシングインフラコストはモジュレーターと関連制御装置のコストであるが、プロジェクトではモジュレーターと制御装置を貸与できるので、業者見積もりから50%割引している。

## 15.7.2.1.2 クライストロン付属品

- フォーカシングマグネット、マウンティングハードウェア、チューブソケット、オイルタンクの採用コストベース：業者見積
- ソレノイド、フィラメントとイオンポンプ電源、RF プレドライバ、及び関連した制御装置、ソフトウェア、インターロックシステムのコストベース：RDR

### 15.7.2.2 モジュレーター( TDR 用のベースの変調器はMarx モジュレーター)

- コスト情報源: 業者見積、SLACのエンジニアリング見積、EXFEL の調達実績
- 採用コストベース: SLAC エンジニアリング見積
- 材料と製作コストをボトムアップで計算; 一般的な企業労務費、利益を算入
- プロトタイプコストでの材料費(プロトタイプコスト合計の80%)に95%、労務(残り20%)に90%の経験曲線を使用(平均割引は約31%)

### 15.7.2.3 RF-分配・システム

- コスト情報源: カタログ単価、業者見積(特殊装置: CTO、負荷、バリアブル・ハイブリッド、フェーズ・シフター)、EXFELの調達実績
- 採用コストベース: カタログ単価、業者見積に基づくSLAC とKEK のエンジニアリングチームによる共同見積(標準カタログ品68%、特殊装置32%)
- DKS レイアウト: ローカルなパワー分配のみ
- KCS レイアウト: RF は地表からトンネル内へ搬送後ローカルでパワー分配される。この搬送用の追加的なマイクロ波ハードウェアが必要なため、KCS のコストはDKS よりも高い。
- ふたつの業者からの調達を前提とし、95%経験曲線を使用(平均的割引は約33%)
- DKS ユニットコストは、TDR の設計がより多くの機能を求めたため、RDR のユニットコストやEXFEL 調達コストよりも高い。

## 15.7.2.4 トンネル内の支持インフラ

- 配線、測定装置、配電に関連した追加費用のコストベース: RDR

## 15.7.2.5 ハイレベルRF の直接労務 (explicit Labor)

- コストベース: RDR (RDR と TDR のコスト比を勘案し TDR のために再計算)
- 直接労務 (explicit Labor) に分類
- クライストロン、モジュレーターや分配系組立の入札仕様の作成と監督; 工場検査の支援、工場検査の検証、運搬用に受理; オンサイトの最終アセンブリエリアの調整、監督、マネジメント; システムエンジニアリングと製造及び最終アセンブリのための文書化; エンジニアリングチームの調整、トンネル内の最終インテグレーションと装置コミッショニング; そしてコミッショニング中の検査済みシステムの維持エンジニアリングと技術メンテナンスを含む。

表15.8 ハイレベル RF システム用の基準

\* プロセシング労務と50%のプロセシングインフラを含む。

† 90% (労務) と95% (材料) 経験曲線をもとに30%割引している。

‡ 95%経験曲線をもとに約33%割引している。

サブコンポーネント	基準タイプ	基準ソース(日)	個数 (DKS)	個数 (KCS)
クライストロン	業者見積*	有資格業者	426	461
クライストロン補助項目	エンジニアリング算定	RDR(2007)	426	461
モジュレーター	エンジニアリング算定†	SLAC(2012)	426	461
KCS RF 分配	カタログ及び業者見積‡	SLAC, KEK (2012)	0	567
局所的 RF 分配	カタログ及び業者見積‡	SLAC, KEK (2012)	616	616
人員	エンジニアリング算定	RDR(2007)		

## 15.7.3 施設 (CFS)

### 15.7.3.1 はじめに

- コスト情報源: コンサルタントエンジニア
- 参考としたデータ:
  - ✓ 他の加速器または同様のプロジェクトの過去のデータ
  - ✓ 基準価格算定ガイド
  - ✓ 同様のシステムからのコストスケーリング (適切である場合)
- 各加速器とテクニカルシステムグループから提供された要件をもとに3 地域 (アメリカ、アジア、ヨーロッパ) のチームが同じWBS ストラクチャをレベル5 まで用いて別々に算出。
- 明白な予備費に相当する費用は入れていない。
- 進行中のエンジニアリングと文書化に関連した費用は“エンジニアリング、研究作業及び文書化”と題したカテゴリーに含まれている。この作業の一部は建築事務所 (A&E firms) を通じて行われており、Value 見積りに含まれている。
- 追加の作業はILC ラボラトリーまたは協力研究機関で行われる可能性があるが、人・時間としてCFS の直接労務 (explicit Labor) 評価に入れられている。

## 15.7.3.2 土木

- 地形と地質の違いにより3つのサイトで別個のコスト見積
- 建設開始前に発生する活動の費用は、明示的には見積には含まれていない。

いくつかの例(サイト選定が行われるまで正確に見積もることは不可能)

- ✓ 建設開始前の建築工学検討(A&E)サービス
- ✓ 地盤工学と環境調査の実施費用
- ✓ 土地取得費用
- ✓ 地元行政の法律と規則を満たすためにかかる費用

### 15.7.3.2.1 地下建設

- 採用したコストベース: コンサルタントや同様なプロジェクト及び標準的な土木工事の情報
- トンネル、シャフト、空洞(キャバーン)、ホール、その他、土木のすべての主要要素、建設作業に必要なすべての臨時施設、さらに作業開始前の必要なサイト準備を見積に含む。
- 掘削法:
  - ✓ CERN : ビームトンネルの掘削、トンネル掘進機(TBM); 縦抗は従来の開削方法、モラツセ岩に到達したとき、ロックブレイカーとロードヘッドを使って掘削
  - ✓ アメリカ: ビームトンネルの掘削、TBM ; シャフトと空洞掘削、ドリルと発破による掘削
  - ✓ アジア: ニュー・オーストリアン・トンネリング・メソッド(NATM)ドリルと発破による掘削

### 15.7.3.2.2 地上建物

地上建物:プロジェクトの建設、設置作業、運営に必要な地上施設のみ含む。

- サイト依存性がある:
  - ✓ アメリカやヨーロッパ: セミナールームやゲストハウス、レストラン、管理施設、倉庫その他の追加的なインフラは近くのホスト研究所により提供されるとし、それらはコスト見積には含まない。
  - ✓ アジア: 近くに研究所がないため、見積に中央キャンパス施設を含む。また、設置作業中に使われる3つの大型倉庫を含む。
  
- 地上建物(中央キャンパス、シャフト配置)のコスト見積に含まれる項目:
  - ✓ フェンスとゲート
  - ✓ フェンス内の道路と駐車場、及びフェンスから既存の道路ネットワークへの道路
  - ✓ 歩行者用道路
  - ✓ 埋設電気コネクションを含む歩道用及び建物用照明
  - ✓ 道路と駐車場に沿った必要な排水溝、汚水だめ、及び水処理施設と既存本線への接続
  - ✓ すべての必要な給水パイプ、タンクと既存の給水ネットワークへの接続。
  - ✓ 必要に応じた造園と木々の植樹、灌木、草の植え付け。
  - ✓ 造園を含む建物エリアに近い場所につくられた廃棄物置き場(適切な場所に)。

## 15.7.3.2.3 トンネル容積と地上建物面積

表15.9

ビーム及びサービストンネル容積、及び地上建物エリア

アジア地域の地上建物には3つの倉庫が含まれ、各々6,000 m<sup>2</sup>の面積となる

地域	トンネル容積 (m <sup>3</sup> )	洞窟容積 (m <sup>3</sup> )	IR ホール容積 (m <sup>3</sup> )	地上建物面積 (m <sup>2</sup> )
アメリカ	904,881	133,755	135,703	74,599
ヨーロッパ	1,070,268	156,232	127,100	
アジア	2,091,630	330,360	189,381	109,275

## 15.7.3.2.5 CFSTータルコスト

- アメリカとヨーロッパのサイトにおけるトンネル、シャフト、キャバーンとホールの費用の分布は、デザインが共通しているので似ている。
- アメリカとヨーロッパではビームトンネル単価は似ており、ビームトンネル合計費用も同じ。
- ヨーロッパ地域では空洞の容積はより大きく、ヨーロッパの空洞掘削単価は低いにも関わらず、アメリカとヨーロッパの全体の空洞掘削コストは似通っている。
- シャフト費用は、アメリカの算定では非常に高くなっている。これはアメリカ地域における垂直シャフト単価が高いことに起因している。
- ビームトンネルはアジア地域サイトにおいては全土木費用のうちより大きな部分を占めており、これは“かまぼこ”トンネルの断面積がより大きく、単位長あたりのコストが上昇するからである。
- 水平傾斜アクセストンネルは全体コストで同じ割合を占めるが、これは水平アクセストンネル掘削単価が低いことによるものである。
- 空洞容積はアジア地域サイトではより大きいものの、空洞掘削単価はずっと低く、それによって全体の空洞掘削費用が平らな地形のサイトと同じ程度になっている。
- アジアサイトでは、中央ラボ、オフィスビル、ユーザー施設、倉庫に関連した追加的な地上構造物が含まれているため、他のサイトよりもサイト開発費用が高くなっている。
- 山地地域サイトでは必要なサービスビルの数は少なくなり、そのために全体の地上構造物費用は既存ラボがより近い位置にあるアメリカとヨーロッパと同様になる。

## 15.7.5 冷凍機系

- 採用したコストベース: FNAL、CERN、DESY、他の研究所での冷凍機プラントと分配装置の調達経験のスケーリング
  - ✓ インジェクターとダンピングリングにより使用される小規模のプラント: FNAL のニュー・ミュオン・ラボラトリーにあるプラントの調達経験
  - ✓ 直接労務 (explicit Labor) 評価: 超伝導超大型加速器 (SSC) の冷凍機システムにおける人員配置の経験
- 平地と山地サイト間における地形の相違による異なる冷凍機プラント・レイアウトのための別個の評価 (ただし算出基準は同じものを用いた)
- 冷凍機プラントのコスト: コストとプラントパワー間に非線形パラメトリックな関係
- 冷凍分配システムのコスト: コストと長さの間に線形関係

## 15.7.6 磁石と磁石電源システム

- 採用コストベース: RDR準拠(既存デザインをもとにしたエンジニアリング算定)
  - ✓ 材料コスト: 主に銅と鋼鉄からなる磁石とケーブル材料の重量推定から、RDRの時点で得た世界の商品物価をもとにTDR算定日の時点のコストに変換
  - ✓ 電源、FPGA、PLC、制御装置、イーサネットインターフェイスなどの商業製品のコスト: RDRの時点で得たコストを製造品項目の物価上昇率をもとにTDR算定日の時点のコストに変換
  - ✓ IRの超伝導挿入磁石: BNLの磁石デザインの経験
  - ✓ エンジニアリング、デザイン、検査と受理(EDIA)の労務コスト: SLACとFNALの大型加速器磁石と電源プロジェクトの経験
  - ✓ ダンピングリング: 設計変更や新しい分散型の電源システムの導入により、TDRでは新しい磁石の単価の評価
  - ✓ ダンピングウィグラー: CESR-cウィグラーにおけるエンジニアリング及び製作経験
  - ✓ ダンピングリングキッカーパルサー: 仕様の近い、市場で入手可能なパルサー(高速イオン化ダイニスター等)をもとに算出

注) 主ライナック四重極磁石とコレクターのコストはクライオモジュールのコストに含まれているが、四重極磁石電源のコストは磁石と磁石電源システムで計上。

### 15.7.7 真空システム

- 採用したコストベース: RDR 準拠(ダンピングリングを除く)
  - ✓ 真空システムの主要部分: 業者の見積及び大量調達実績から
  - ✓ フランジ、ガスケット、ボルト、ナット、ケーブル、その他の“消耗品”は含めていないか、あるいはカタログアイテムの大量調達による割引として処理
  - ✓ ダンピングリング: 陽電子リング内の電子雲効果(electron cloud)を軽減するために必要な表面トリートメントとアンテチェンバーのコストが含むので、TDR では非常に似た真空システムを持つスーパーKEKB 陽電子リング用の見積をもとに新規に算出

注)クライオモジュール真空システムのコスト: クライオモジュールのコストに含まれている。

### 15.7.8 インストゥルメンテーション(測定装置系)

- 採用したコストベース: RDR 準拠

含まれる機器

- ✓ 真空システムの一部として、すべてのピックアップステーション
- ✓ シンチレーター、PMT、レーザーシステム、キャリブレーションシステム
- ✓ RF システムとDMC ベースのバンチ長モニターのためのインフラ
- ✓ 関連モニター、スイッチ、機械的セットアップ
- ✓ シグナルとコントロールケーブル、コネクタ、パッチケーブル、その他
- ✓ 専用の読み出し電子機器(アナログとデジタル)、制御装
- バンチ長測定用Sバンド双極モード加速管: IHEP(中国高能物理研究所)における加速器建設の経験

### 15.7.9 ダンプとコリメーター

#### ➤ 採用したユニットコストベース:RDR 準拠

- ✓ メインビームダンプ:原子炉技術の専門のドイツ企業2社による工業量産化検討
- ✓ アルミニウム・ボールのダンプ:2006年のISISターゲット冷却システムが見積のベース
- ✓ トンネルLCWシステムにより供給される周辺冷却の項目:SLACで使用されている同様の装置の製造コストをもとに見積

### 15.7.10 統合制御とローレベルRF(LLRF)

#### ➤ 採用したユニットコストベース:RDR 準拠

#### 統合制御とローレベルRFシステムの範囲

- ✓ グローバル制御システムハードウェアとソフトウェア
  - ✓ 加速器制御システム用の中央コンピューター
  - ✓ 制御システムデータベース
  - ✓ 制御システムネットワークインフラ
  - ✓ 制御システムフロントエンド電子機器と配線
  - ✓ ローレベルRF電子機器と配線
  - ✓ 人員保護システムとマシン保護システム
  - ✓ 5-Hz フィードバックインフラ
- 大規模にCOTS (Commercial off-the-shelf: 商用製品)を用いる可能性がある。

### 15.7.11 計算インフラ

#### ➤ 採用したユニットコストベース: RDR 準拠

- ✓ 含まれるインフラ: ビジネス計算施設とソフトウェア、関連ソフトウェアとともにコアキャンパスネットワーク、中央計算サービス、コンピューターセキュリティシステム、エンジニアリングソフトウェアなど
- ✓ IT インフラ: FNAL における IT インフラの建設及び運転実績

### 15.7.12 その他のハイレベルRF

#### ➤ 採用したユニットコストベース: RDR 準拠

- ✓ SLAC における常伝導RF 専門家のエンジニアリング算定
- ✓ ダンピングリングRF システム: 商業的に入手可能な500 MHz装置からのスケーリング (ILC は650 MHz)

#### 対象とするシステム: Lバンドシステムを除いたRF パワーを発生するすべてのシステム

- ✓ 電子源の常伝導サブハーモニックバンチングシステム
- ✓ 陽電子源の常伝導ハイレベルRF システム
- ✓ ダンピングリング内の650 MHz RF システム

# 15.7.13 加速器エリア特有の価格ベース

## 15.7.13.1 電子源

- 採用したユニットコストベース: RDR 準拠 (SLAC における偏極電子源の経験をもとに行われたエンジニアリング算定)
- カバーする項目: レーザーシステム、ポラライズドエレクトロンガン (偏極電子銃)、サブハーモニックバンチャーとトラベリングウェイブバンチャー

## 15.7.13.2 陽電子源

- 採用したユニットコストベース: RDR 準拠 (SLAC における経験をもとに行われたエンジニアリング算定)
  - ✓ 補助陽電子源: ANL において行われた電子源における経験をベースにしたエンジニアリング算定
  - ✓ ターゲットリモートハンドリング: IHEP における経験をもとにエンジニアリング算定
- カバーする項目: 陽電子生成ターゲットとそのハウジング、マッチング装置、スタンディングウェイブとトラベリングウェイブ常伝導加速器、補助の陽電子源、ターゲットリモートハンドリング (遠隔操作) システム

## 15.7.13.3 ダンピングリング

- 採用したユニットコストベース: INFN のエンジニアによる RDR 評価をもとにした新規算定
  - ✓ CW650-MHz システムの空洞とクライオモジュールコーネル大と KEKB において行われた 500 MHz システムの商業化バージョンと同じことを前提

# 15.7.14 管理と運営

➤ 採用したコストベース: RDR準拠(SSCの実際の人材雇用レベルの50%)

表15.11

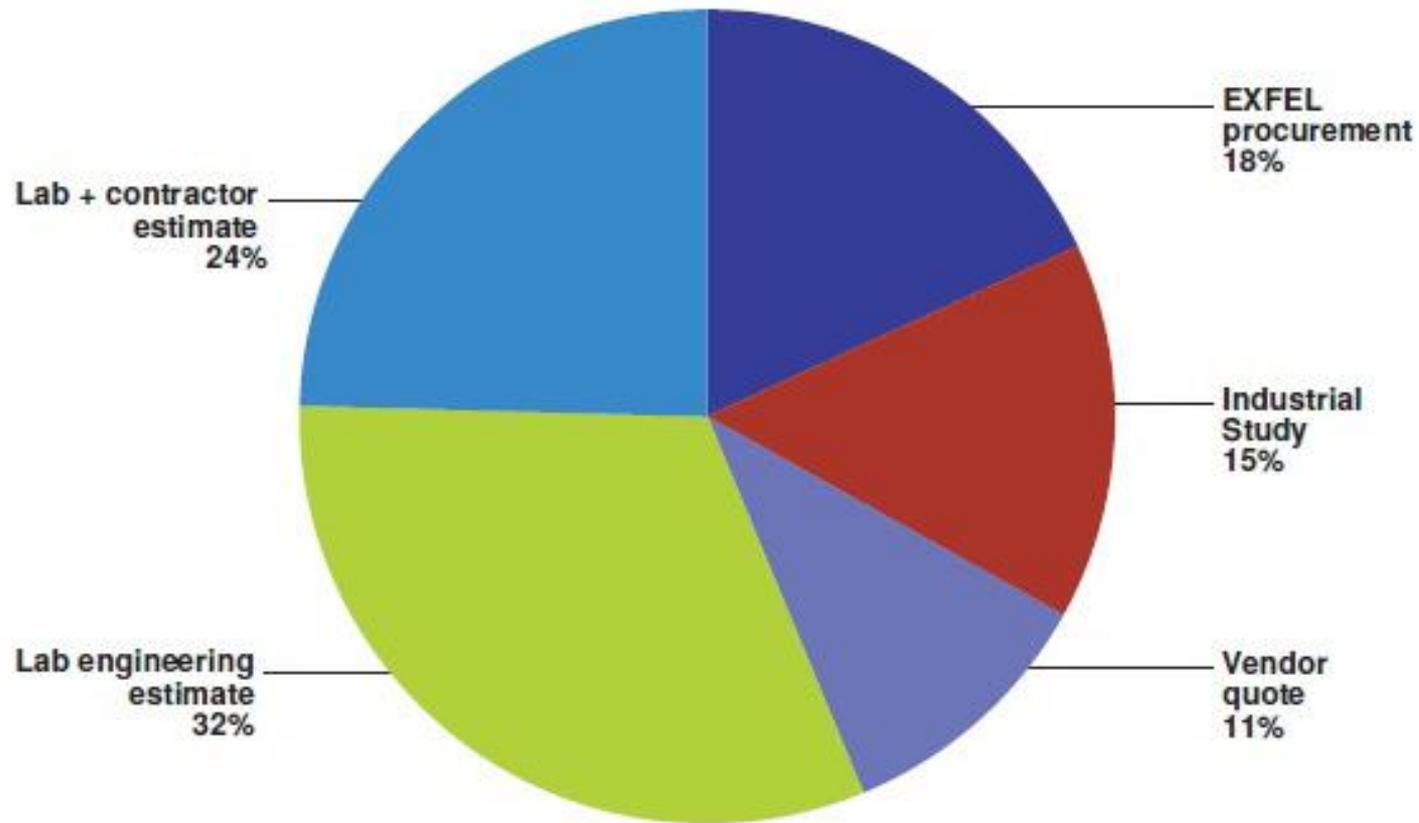
ILCにおける管理モデルの構成。合計管理及び運営人員のパーセンテージを示す数字はその機能に関連している。

単位	合計の割合	任務
管理者	10	管理オフィス、プランニング、ES&H監督、法務、渉外、教育、国際協調、技術移転
管理部門	4	品質管理、ES&H
ラボラトリ技術サービス	42	施設サービス、エンジニアリング支援、材料とロジスティックサービス、組立施設、スタッフサービス
運営サービス	32	人事、財務、調達、庶務
プロジェクト管理部門	11	管理、運営、プロジェクトマネジメント部門オフィス

- 計算インフラに含まれていた中央計算スタッフは別途。
- 2年のランプアップ、続く7年間のフル雇用のレベルを想定。
- 中央管理されたプロジェクトをもとにしている。
- 現物出資(in-kind)の性格が強いプロジェクトでは、追加的な管理または運営人員を中央のロケーション、または協力地域のロケーションにおいて必要とすることがあるが、特定のモデルなしで算定することが難しいため算定には含めていない。

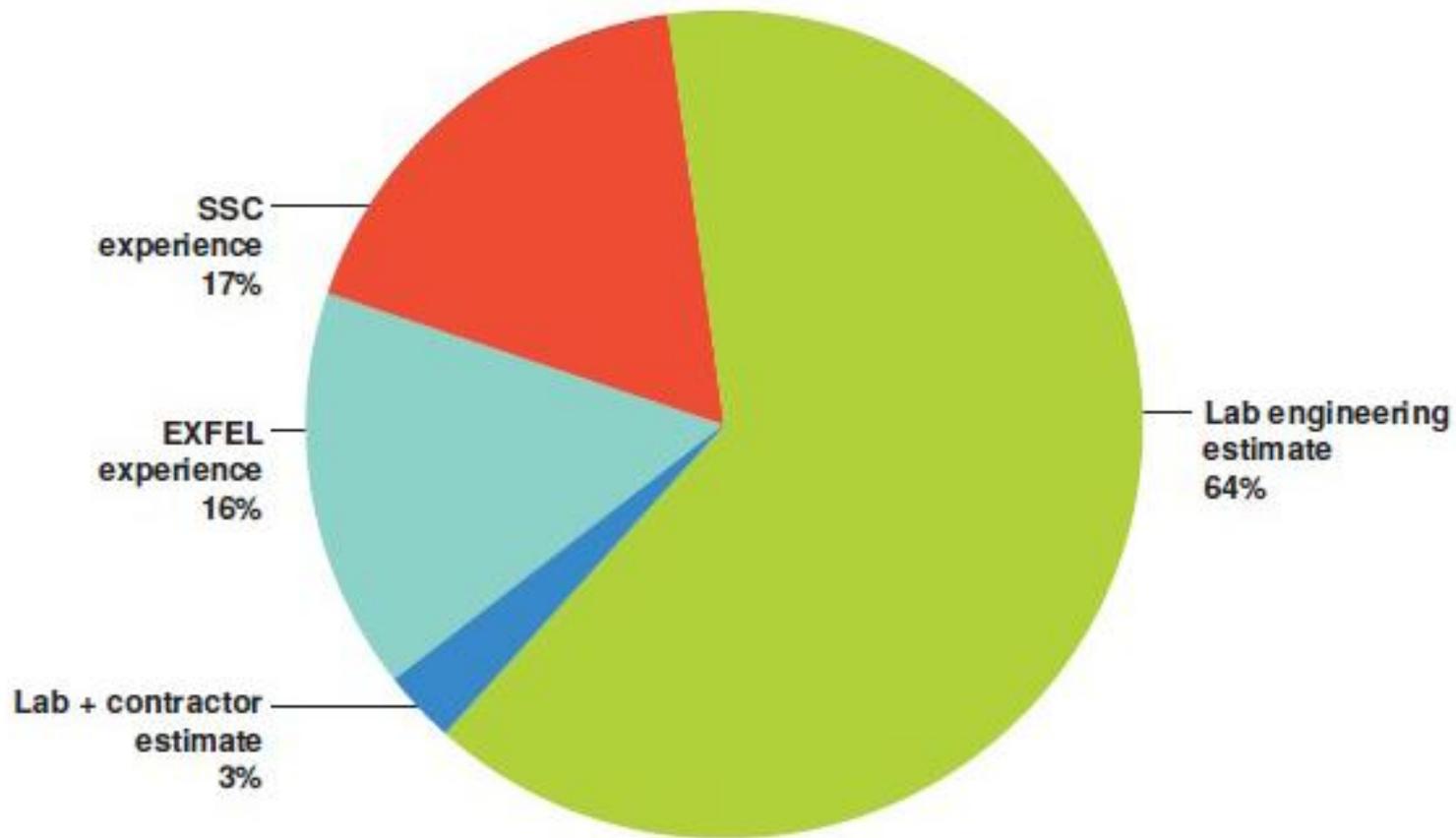
# 15.7.15 コスト算出ベースのまとめ

図15.4 TDR におけるILC のValue 評価コスト基準種別比率



# 15.7.15 コスト算出ベースのまとめ

図15.5 TDR におけるILC のLabor評価コスト基準種別比率



# 15.8 建設コスト (Value/Labor) のまとめ

## 15.8.1 RDR の (escalation) 補正

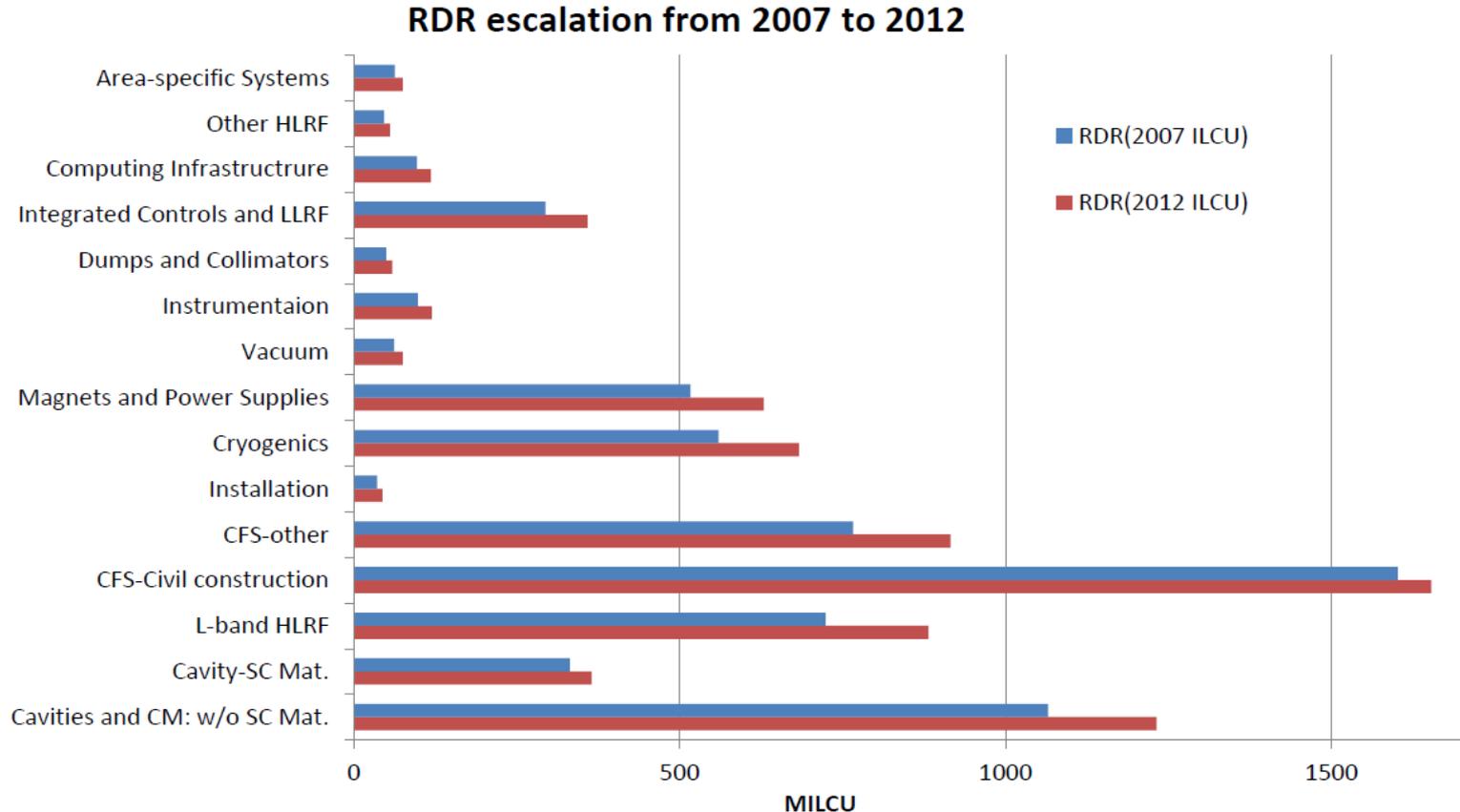


図15.6 RDR 見積2007 年を2012 年に修正したもの。RDR 見積の修正(赤)は7,266 MILCU、青は2007 年のPPP 指数に基づきILCU 建てに換算した RDR 見積で 6,312 MILCU。2012 年(7,266)と2007 年(6,312)のRDR 見積の比率は1.15 で、これが米ドル建てプロジェクトのコスト要素それぞれの平均のインフレ率である。

## 15.8.2 TDRのValue見積

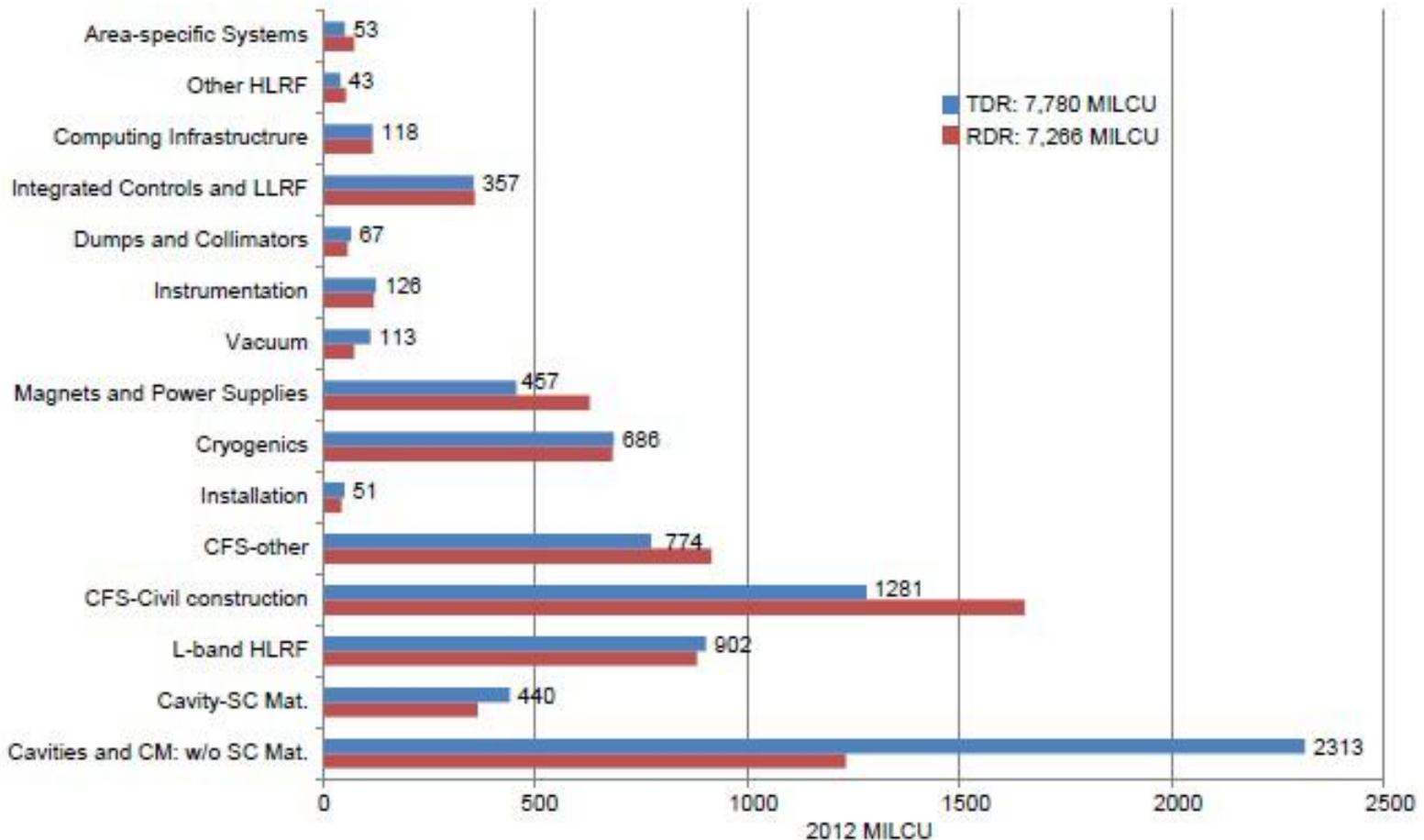
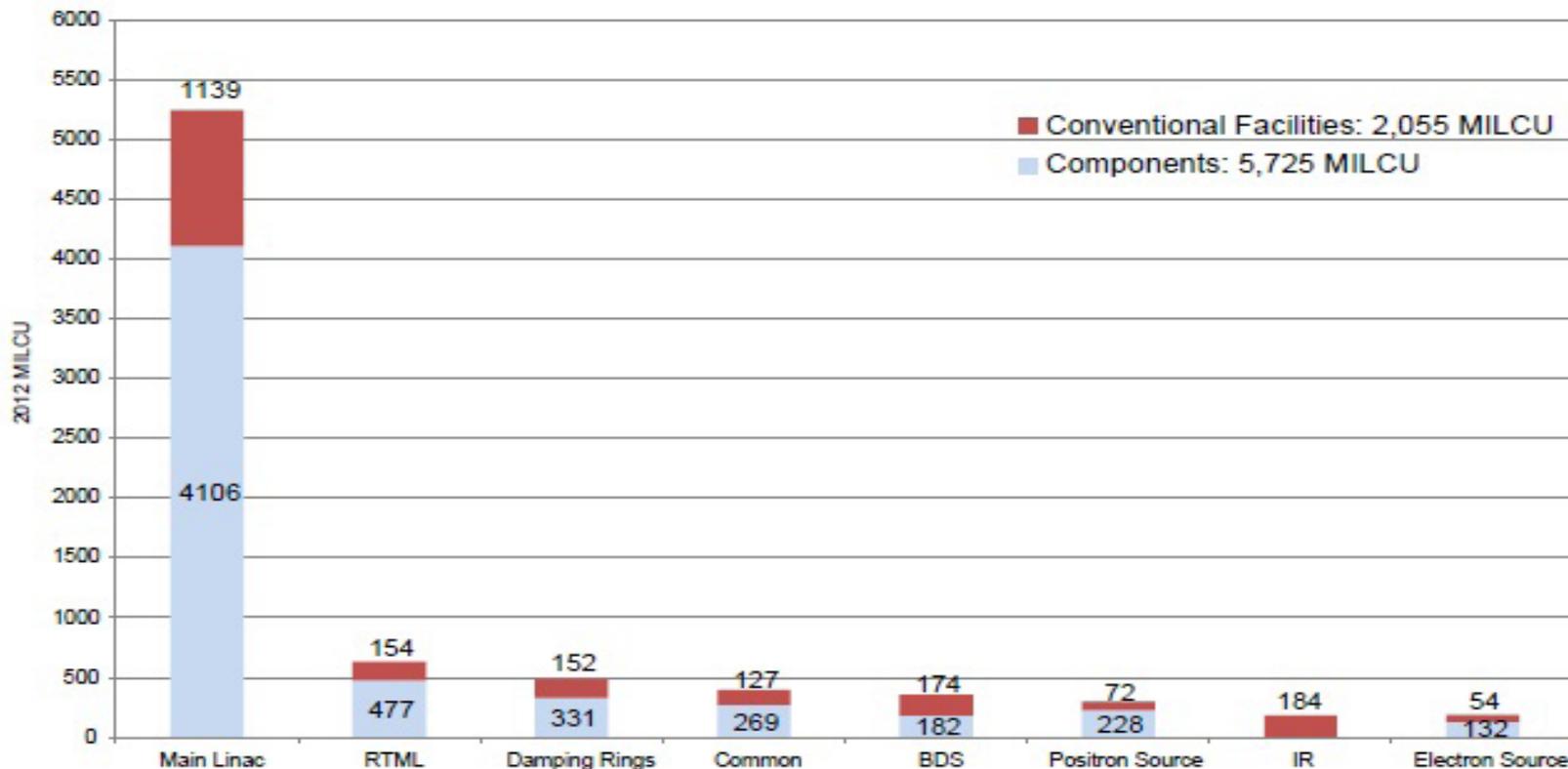


図15.7 TDRにおける加速器システムのValue見積(ILCU建て、MILCU単位)。比較のためRDRの修正評価も示している。

# TDRのValue見積

- TDRにおけるILCのValue見積は7,780 MILCU(3地域サイトの平均)比較)RDRの修正Value見積は7,266 MILCU
- 加速器設計のコスト最適化により、RDRと比べて約9%削減
- 空洞とクライオモジュールの製造コストは、RDR以降に得られた広範な経験により、RDRと比べるとプロジェクト全体の約16%増加
- TDRの正味コスト(インフレ修正後)は、RDRと比べて約7%増加
- 冷凍機システムやRF電力システムを含む各種超伝導RFコンポーネントは、CFS以外のコンポーネントの評価額全体の約76%

図15.8 各加速器システム（領域システム）のValue見積  
 （ILCU 建て、MILCU単位：CFS とコンポーネントに分けて示す）



「共通」には、計算インフラ、高電圧送電ライン (high-voltage transmission line)、中央変電施設 (main substation)、共通制御システム、一般設置機器類、サイト全体のアライメント用標識、臨時建設施設 (temporary construction utilities)、土壌ボーリング・サイト調査、安全システム・通信システムなどのインフラ項目が含まれる。約67%を主ライナックが占めている。

## 15.8.3 TDR における直接労務 (explicit Labor) 見積

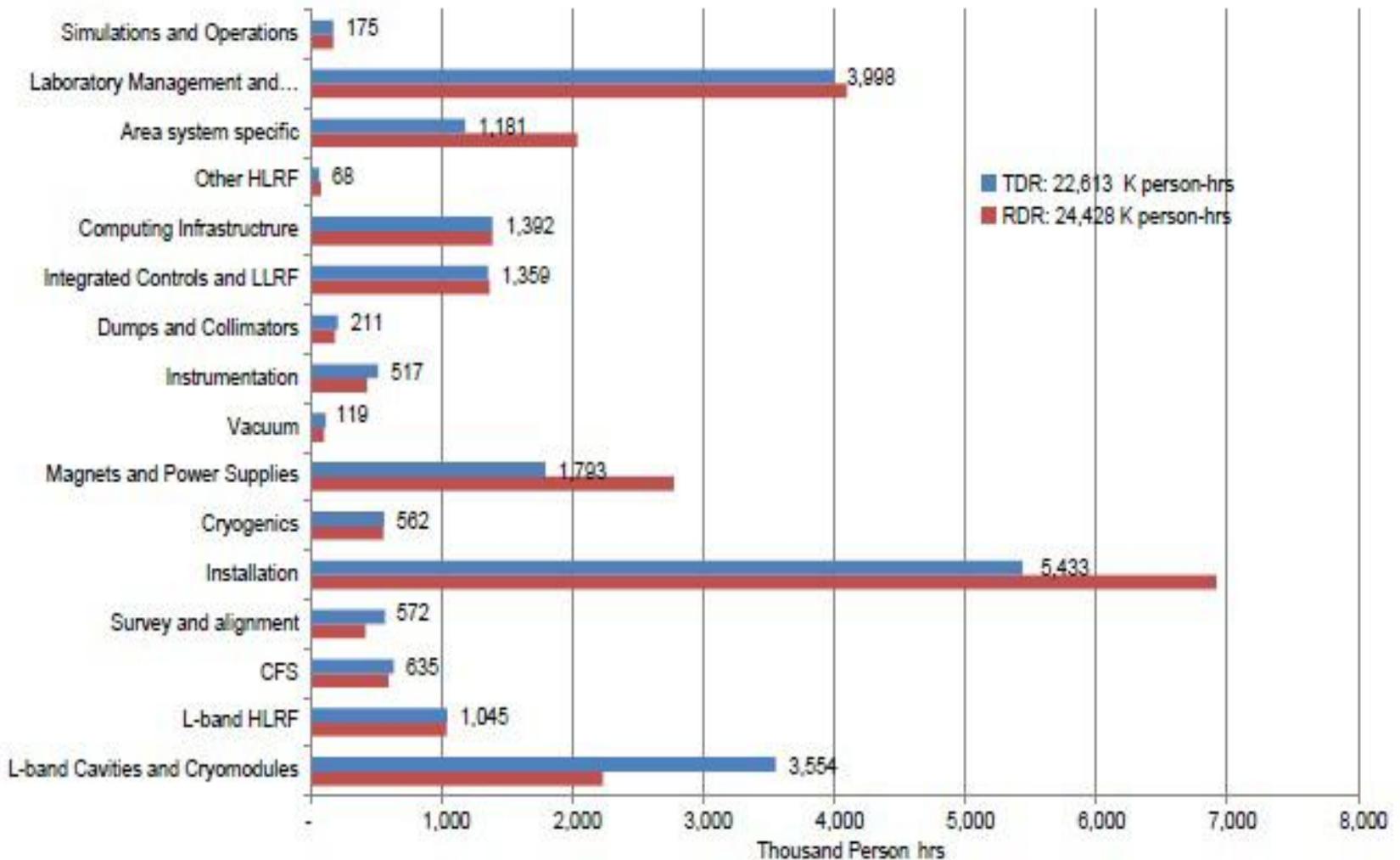
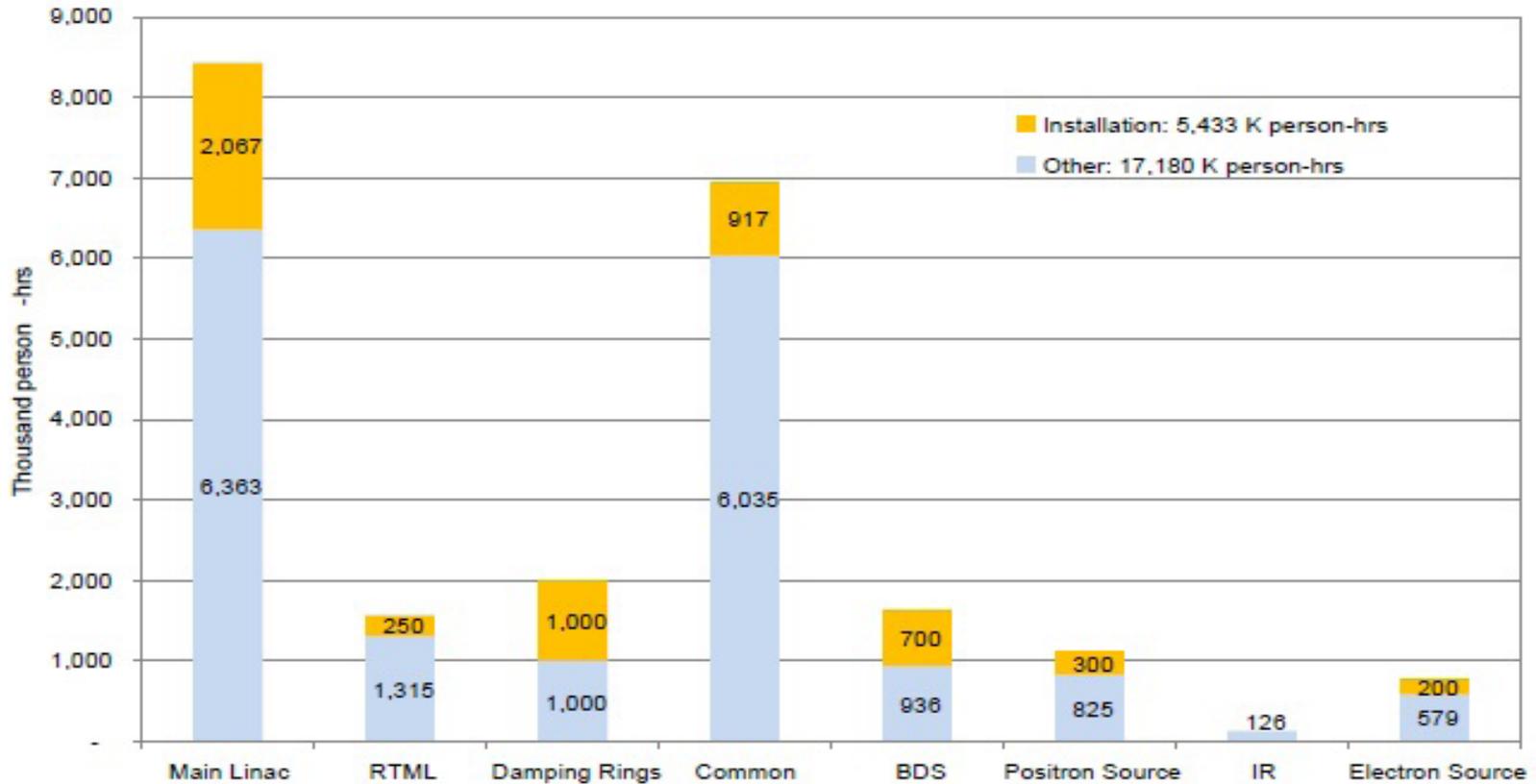


図15.9 協力研究所または機関から提供される直接労務を、専用システム及び加速器特有のシステム毎に示している。TDRにおける各システムのLabor見積は千人時単位。比較のためRDRのLabor見積も示す。

# TDR における直接労務 (explicit Labor) 見積

- TDR において3 地域で平均して算出したLabor見積は22,613 千人時
- RDR で評価した24,427 千人時と比較すると全体で約7%の削減となっている。これには、加速器設計のコスト最適化や、運転管理・システムインテグレーションに関わる所要人員の見直しが効いている。
- 搬入/設置は、直接労務の全体の約24%と大きな割合を占めている。これに次いでラボラトリー管理が全体の約18%を占め、続いてLバンド空洞とクライオモジュールが全体の約16%を占めている。

# 図15.10 加速器システム毎のILCのLabor見積



各加速器システムコンポーネントのLabor見積には、システムの搬入/設置、加速器コンポーネントのEDIA、システムインテグレーションに関わるスタッフ等が、「共通」には、計算インフラ、ラボラトリー管理、シミュレーションと運転、CFSに関するグローバル要素、搬入/設置、そして運転制御に関わる労務が含まれる。全体の約37%を主ライナックが占め、続いて31%を「共通」が占めている。

# Value/Labor見積におけるサイト依存性

表15.12 3つのサンプルサイトにおけるValueの分担モデル(2012年MILCU)

地域	サイト特有	共通	合計
アジア	1,756	6,226	7,982
アメリカ	1,413	6,310	7,723
ヨーロッパ	1,330	6,304	7,634
平均	1,499	6,281	7,780

表15.13 3つのサンプルサイトにおけるLaborの分担モデル(千人時)

地域	サイト特有	共通	合計
アジア	4,536	18,356	22,892
アメリカ	4,272	18,096	22,368
ヨーロッパ	4,496	18,084	22,580
平均	4,435	18,178	22,613

分担額は平地サイトのほうが高くなるが、これは高価なKCSハイレベルRFシステムが必要になるため。3地域のサイトにおけるValue評価全体額の平均二乗偏差(分散)は147 MILCU(1.9%)である。

サイト特有のLaborとは、サイト特有のコスト要素に関わるEDIAや、ラボラトリー管理業務のことをいい、3地域のサイトにおけるLabor評価全体額の平均二乗偏差(分散)は1%である。

## 15.9 コストの不確定性、信頼度、及びコストプレミアム

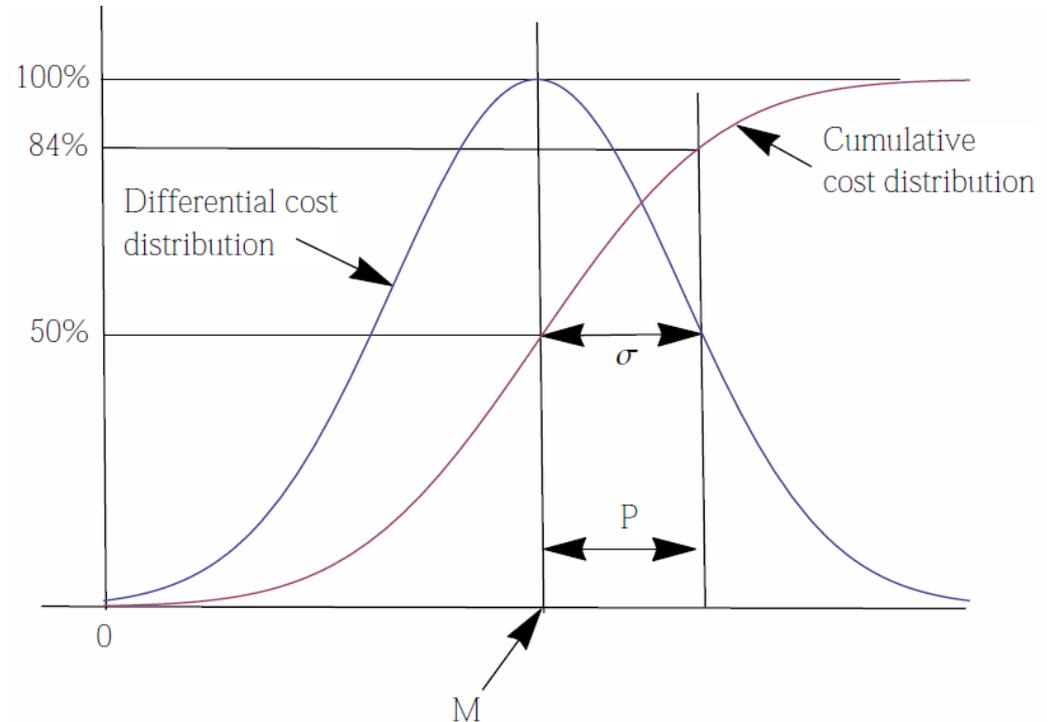
- TDR のValue/Labor 評価における不確定性評価では、コストリスクのみを評価（技術リスク、スケジュールリスク、市場リスク、あるいは意図せず除外された項目等は、含まれていない。また、大量のin-kindによるプロジェクトに伴う潜在的なコストリスクやスケジュールリスク等も含めていない）

注) ILC Costの不確定性評価はいわゆる予備費(contingency)と同義ではない。

- コストリスク: コスト基準(例えば同一品の調達や、単価から導く数量割引、エンジニアリング費用見積等)の不確かさや誤差に起因するもの。
- 技術リスクとは、ある項目が設計性能を達成できなかった場合などに生じる設計見直し等に伴うスケジュール遅延や費用の増加に起因するもの。
- スケジュールリスクとは、ある項目をスケジュールどおりに納品できなかった場合等に起因するもので、コスト増大をまねく遅延(主に効率の悪さ、追加的な労働力を要することによる)が発生する可能性がある。
- 市場リスクとは、評価した調達額からコストが逸脱することに起因するもので、評価時と調達時の経済市場の状況変化が原因となる。

# TDR Costの不確定性評価で仮定した分布とプレミアム

- TDR Costの不確定性評価では、コスト分布形状としてガウス分布（正規分布）と仮定し、より高い信頼度（84%）を得るため、「コストプレミアム（P）」と呼ばれる中央値からのコスト割増を導入した。
- 「高い信頼度の評価額」を導き出すためにはこのコスト割増を中央値(M)に付加する必要があり、このコスト分布曲線がコストの不確さの要因を適切に表しているとすれば、プロジェクト施行中にこの「高い信頼度の評価額」(M + P)を実際のコストが上回る確率は16%である。

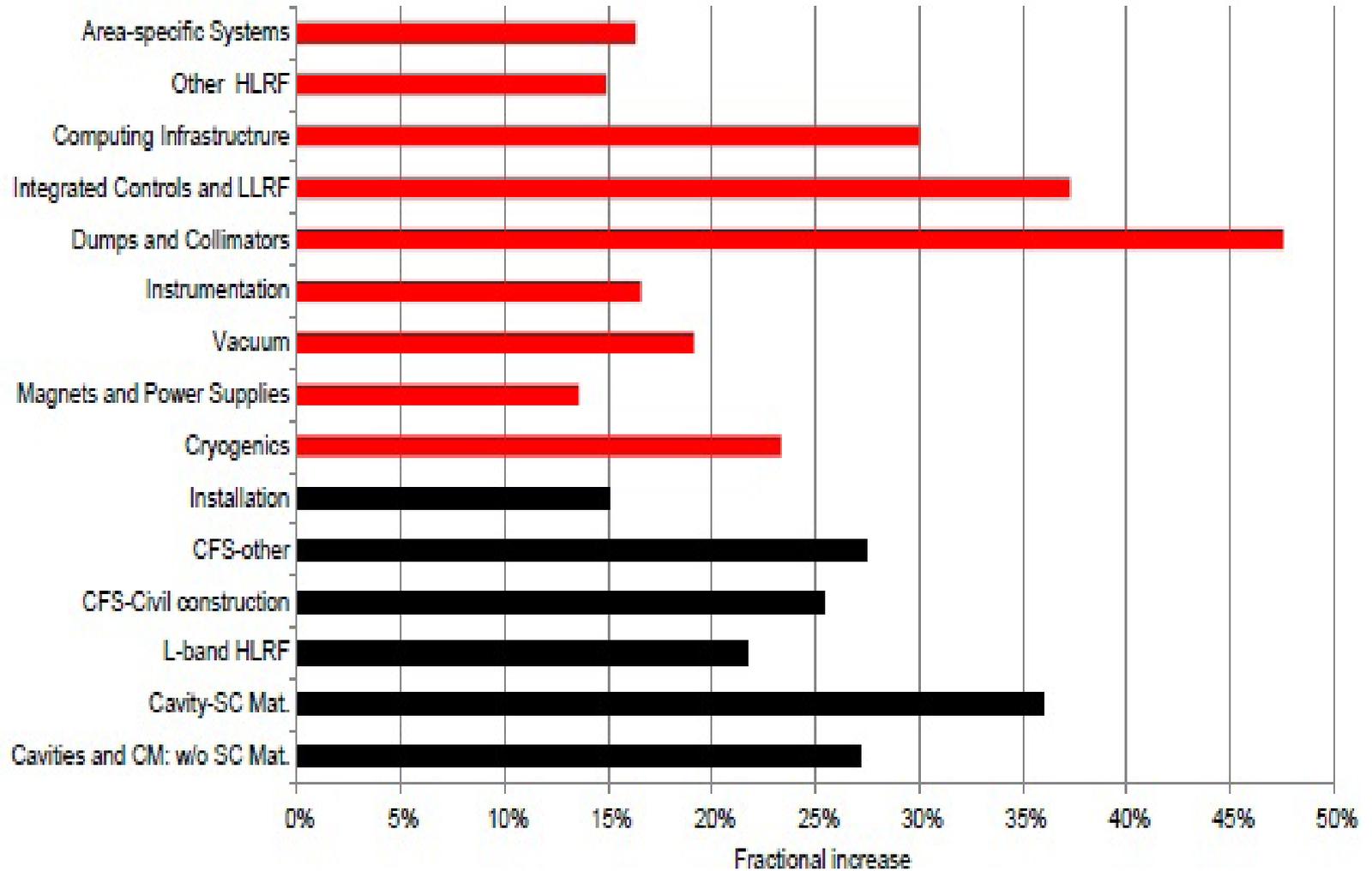


# TDRで採用したコスト情報源の違いによるプレミアム

<b>Technical Systems: Value Basis</b>	Premium
Commercial off-the-shelf or catalog item	5%
Procurement	8%
Vendor quote	10%
Engineering estimate: component requires no R&D	15%
Industrial study utilizing mass production	20%
Engineering estimate: component requires R&D	30%
<b>Technical Systems: Labor Basis</b>	Premium
Scaling from similar experience	15%
Scaling from bottoms-up Value estimate	20%
Engineering estimate: bottoms up	20%
Engineering estimate: top down	35%
<b>Conventional Facilities Basis</b>	Premium
Estimate from consulting firm, with good design basis, amended by lab as needed	15%
In-house technical engineering estimate, based on established technology	20%
Civil engineering estimate, based on geotechnical conditions in the local area supported by contract data and local experience	20%

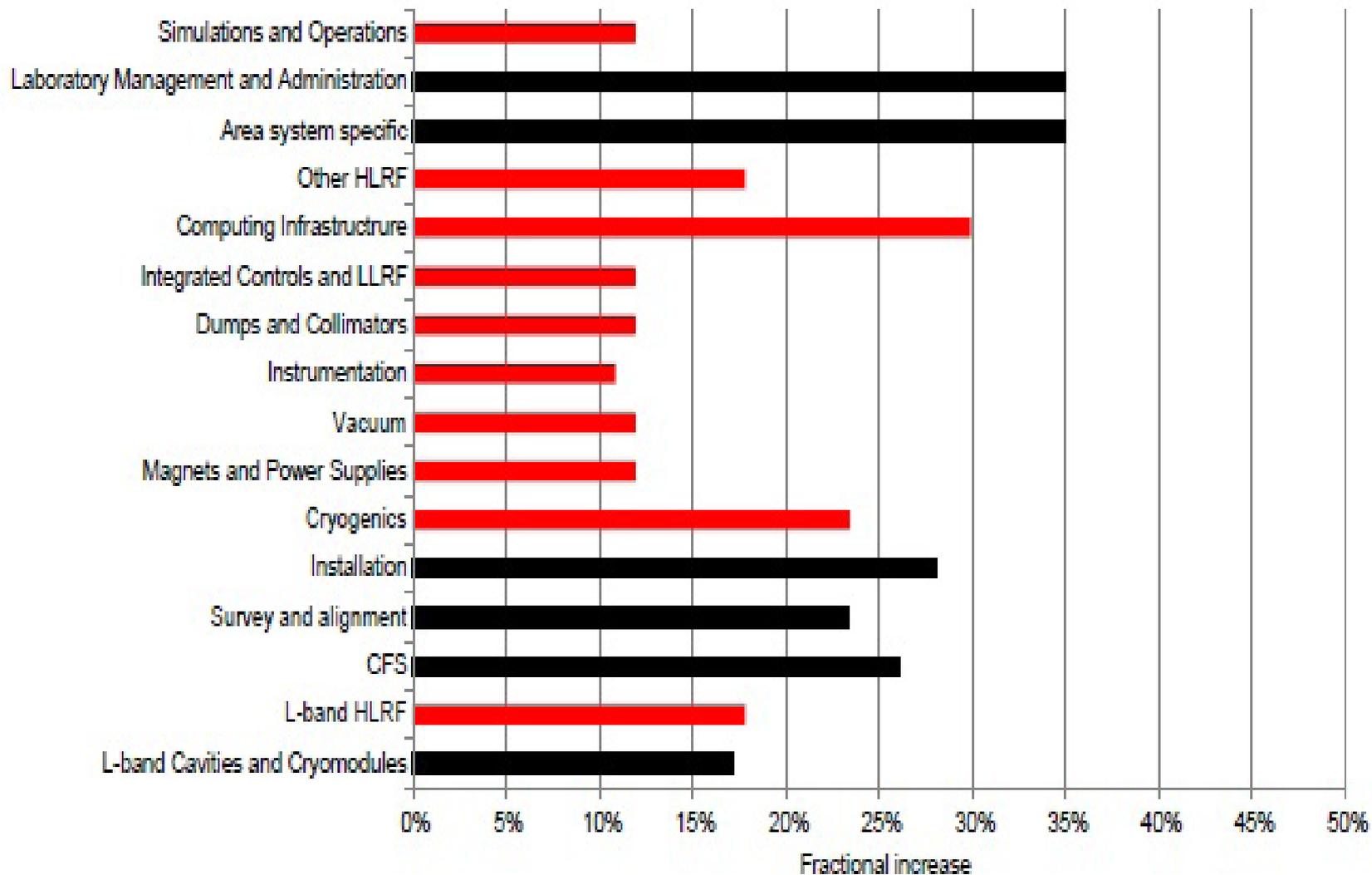
TDRの不確定性: 基本プレミアム、数量割引の半額、特別プレミアムの線形和

図15.11.TDR におけるサブシステムの相対Value プレミアム  
 TDR のValue 評価全体額の相対プレミアムは26%



## 図15.12.TDR サブシステムの相対Labor プレミアム

TDR のLabor 評価額全体における相対Labor プレミアムは24%



# 15.10 Value とLabor のタイムプロファイル

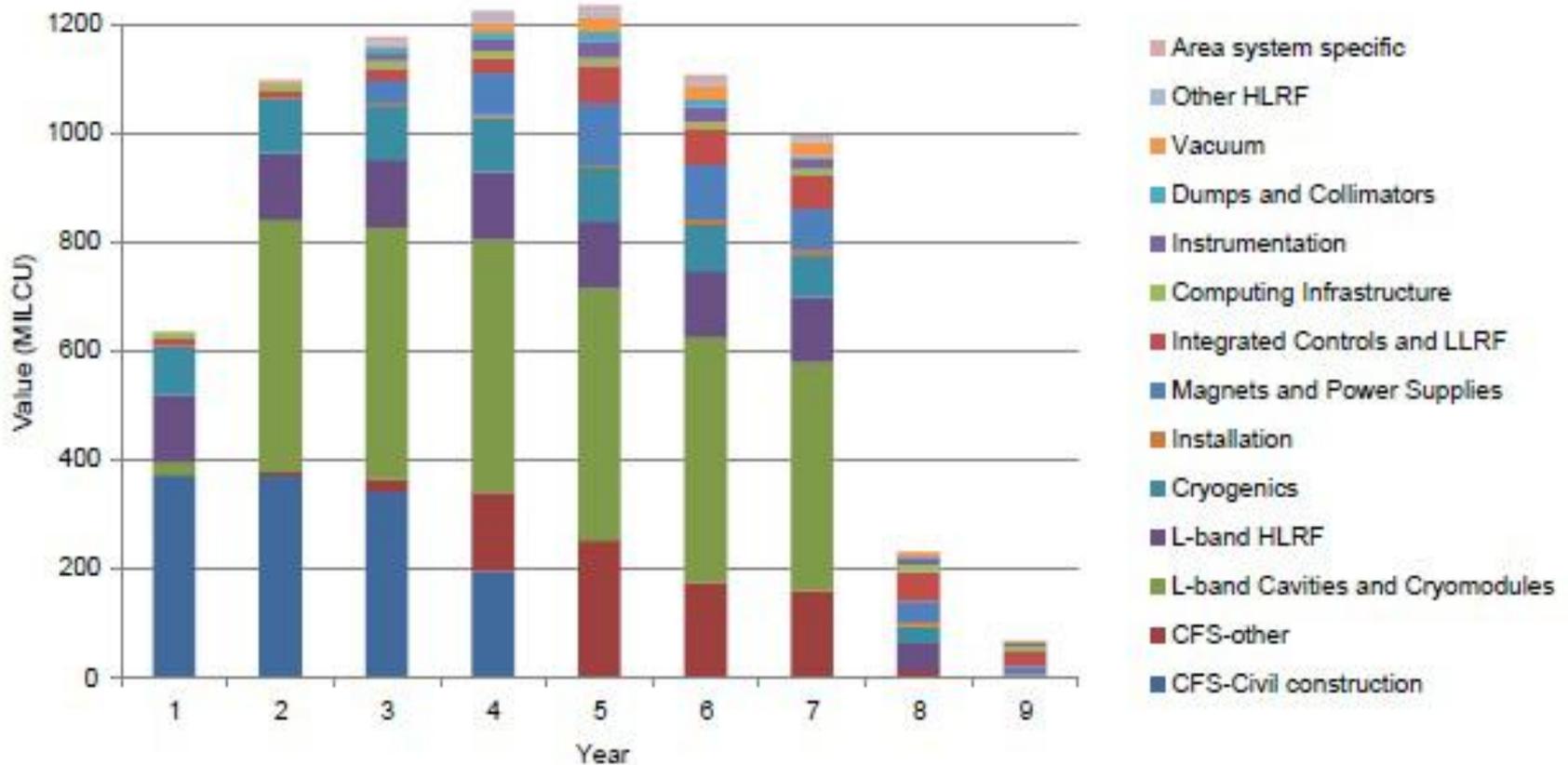


図15.13 一定の資金プロファイルを前提とした加速器システム別のValueのタイムプロファイル  
土木工事が前半に集中することや、また空洞/クライオモジュールに関しては7年間の製造スケジュールのうち約6年間に製造が集中することを示している。所要コストは4年目と5年目にピークを迎え、ピーク時の所要コストは約1,200 MILCUとなる。

# 加速器システム別のLaborのタイムプロファイル (搬入と設置を除く)

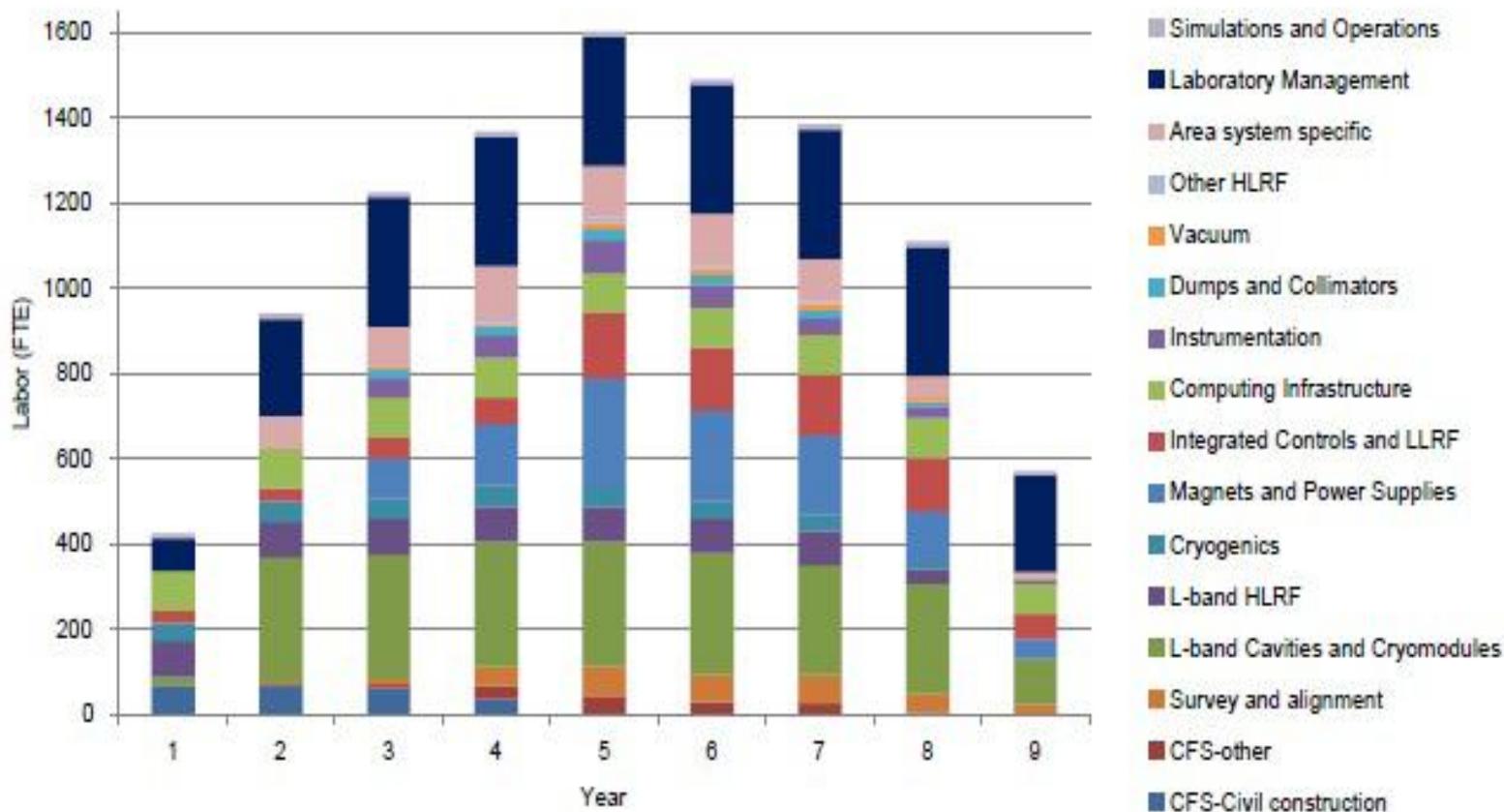


図15.14 加速器システム別にLaborのタイムプロファイル(搬入と設置を除く)  
 プロファイルは人員単位(FTE)で示しており、年間所要人員は1700人時を仮定している。  
 労務の所要人員は5年目にピークを迎え、ピーク時は約1600 FTEである。

# 搬入/設置のプロジェクト年別労務プロフィール

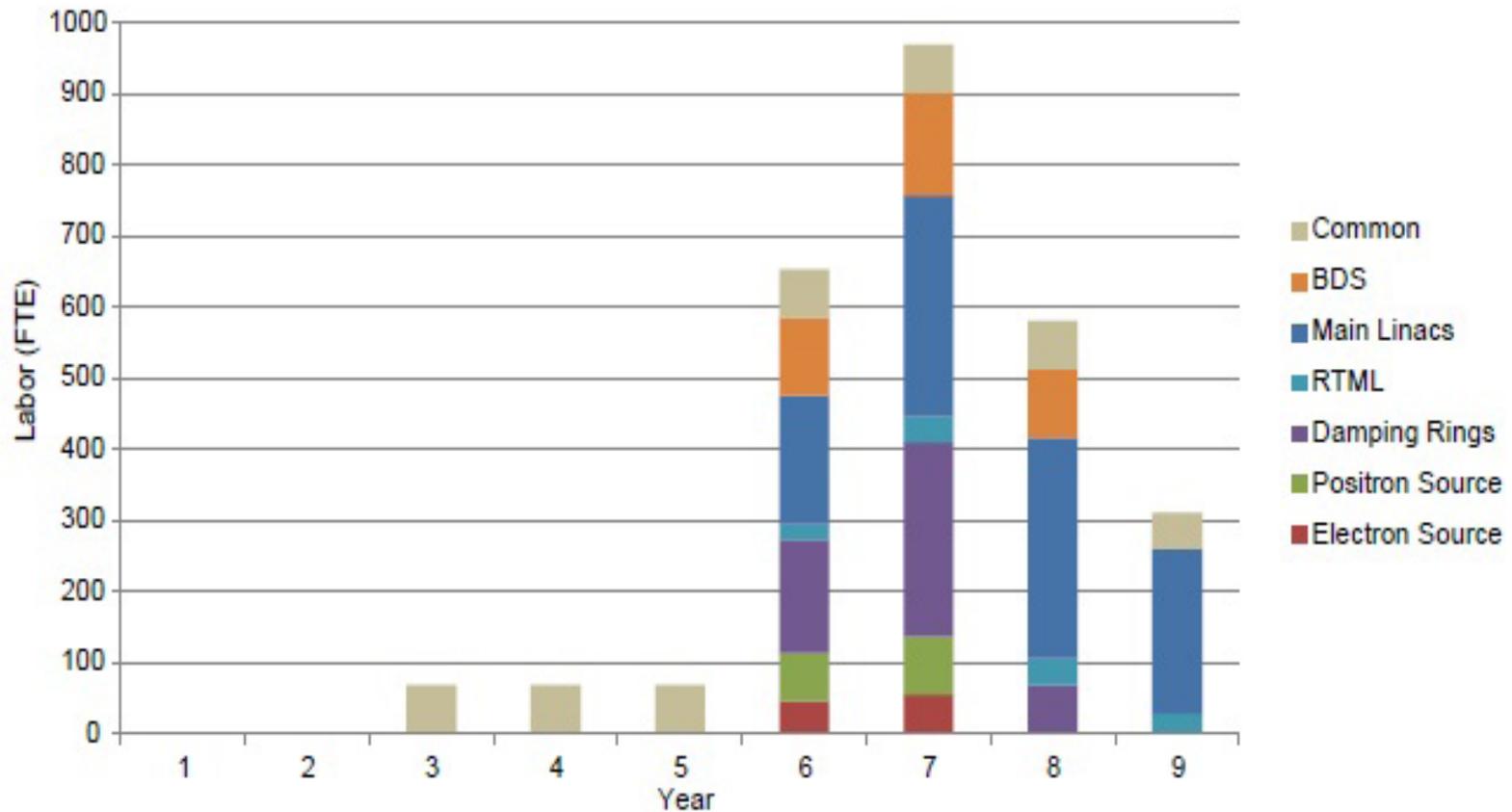


図15.15 搬入/設置のLabor プロファイル

プロフィールは人員単位 (FTE) で示しており、年間所要人員は1700 人時を仮定している。搬入/設置は明らかに後半に集中する。搬入/設置は7 年目ピークを迎え、約950 FTE である。

# 15.11 運転におけるValue/Labor見積

- 建設プロジェクトのValueに運転費は含まれていない。
- コンポーネントのスペア(倉庫に保管されているもので、設置される冗長系のことではない)は設置するコンポーネントとともに製造されるものだが、それらは運転資金からの支出を前提としており、建設プロジェクト費の一部とはみなしていない。
- 運転費には、電力、保守、修理、ヘリウム/窒素等の消耗品、そしてクライストロンのように寿命があり度々交換するコンポーネントが含まれている。
- 電力料金及び保守物品費は、年間280 MILCU から510 MILCU になると算定している。  
(中央値:390MILCU、プレミアム:中央値から上部と下部の標準偏差で約40%)
- 運転及び運転管理スタッフに関わるLaborは、既存の施設の労務費用に相当すると考えられる(科学プログラム支援費は含まない)。
- 既存の施設を基準にすると、運転管理の所要人員は700 FTE から1000 FTE の範囲と推定。  
(中央値:850 FTE 、プレミアム:約25%)
- 運転費は、9年間の建設期間においては4年目から9年目にかけて徐々に上向きに推移する。4年目のゼロからはじまり9年目の建設終了時には本格的な長期運転レベルに達する。

# オプションにおけるValue/Labor のベースライン比

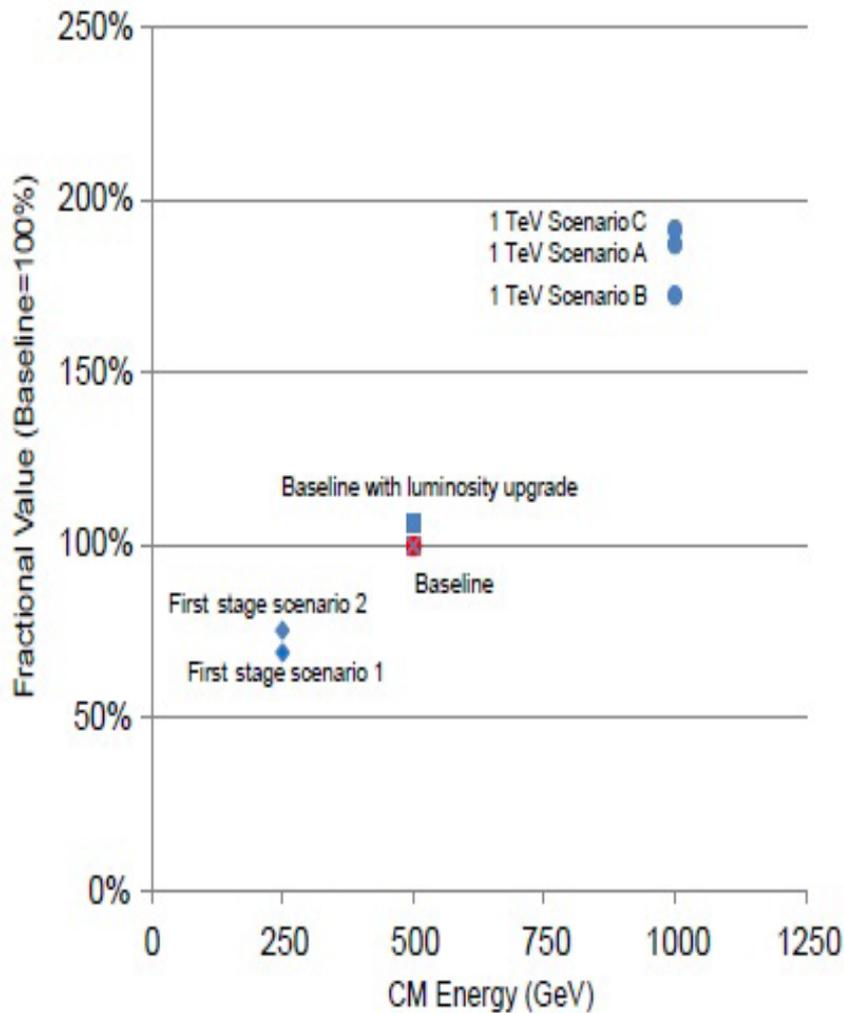


図15.16 アップグレードと準備オプションにおける相対Value 評価

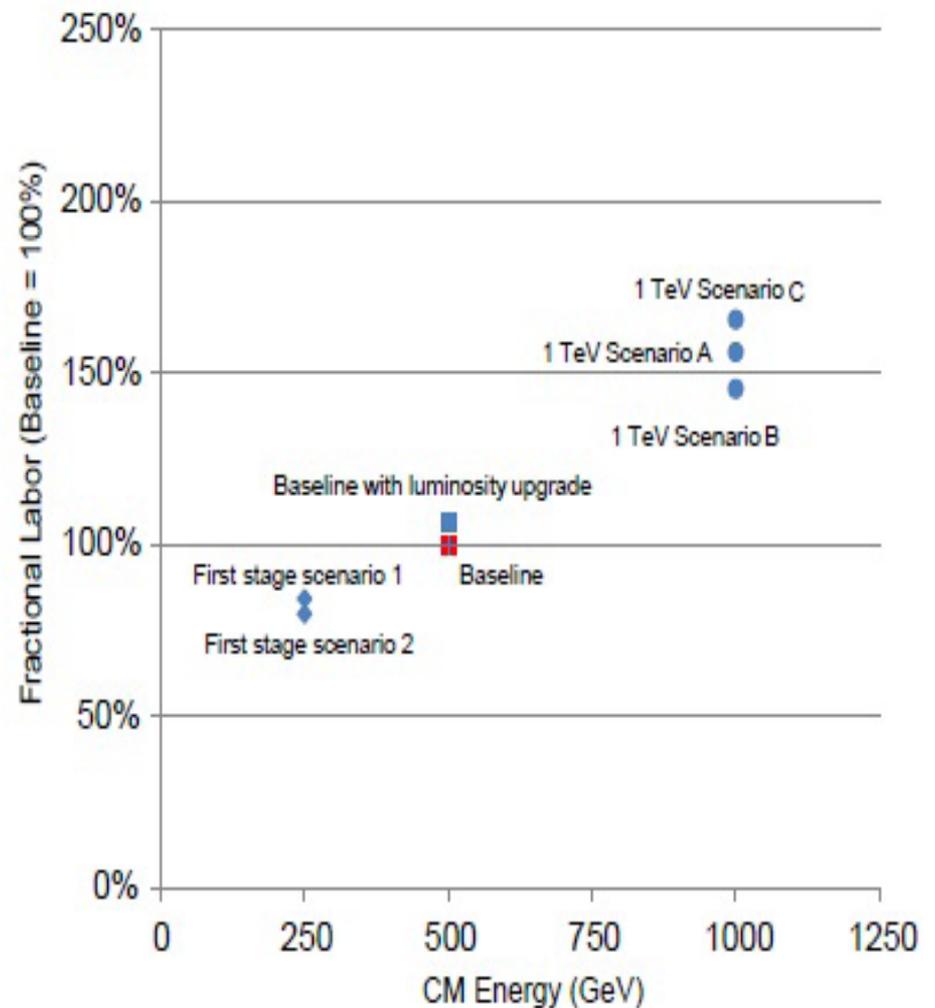


図15.17 アップグレードと準備オプションにおける相対Labor 評価

# まとめに代えて

- 有識者会議での機構長のコスト関連説明
  1. TDR試算建設経費
  2. 設計・建設に必要な人員・人件費
  3. 段階的エネルギー増強シナリオと経費内訳

## TDR試算建設経費

- 衝突エネルギー500GeVの設計を基本とし、1TeVまでのアップグレードも見込んだ設計に対する見積。**(ビームダンプ、最終集束系など、については1TeVまでの拡張性を考慮して設計されている)**
- ただし、建設開始前の費用(土地購入等)、測定器建設、運転経費、税金等は除く。

日本標準仕様経費	サイト負担 経費 (10 <sup>9</sup> ILCU)	共通分担 経費 (10 <sup>9</sup> ILCU)	経費 合計 (10 <sup>9</sup> ILCU)	円換算 経費 (億円)	円換算 予備: 26% (億円)	人件費 (10 <sup>6</sup> 人時)	人件費 予備 24%
TDR経費(PPP)	1.50	6.28	7.78				
日本で建設した場合の経費 (PPP換算)	1.76	6.23	7.98	967	251	22.9	5.5
日本で建設した場合の経費 (為替レート換算) 1USD=100Yen, 1Euro=115Yen	1.76	3.47 2.75	7.98	8,300	2,160	22.9	5.5

件名	コスト標準地域	費用	ILCU換算	円への換算 (相当通貨→円)	日本円換算額
Cavity_クライオモジュール (超伝導材は除く)	国際・欧州	21.45 億ユーロ	23.13億ILCU	115	2,467億円
超伝導材	国際・欧州	3.41 億ユーロ	4.4億ILCU	115	392億円
その他の設備等	国際・米	34.73(億ドル)	34.73億ILCU	100	3,480億円
土木建築(日本)	日本	1,600(億円)	14.66億ILCU	1	1,600億円
装置等(日本に依存する部分)	日本	370(億円)	2.9億ILCU	1	370億円
合計			79.82億ILCU		8,309億円

日本：土地購入  
(~50億円)

← 中央研究所等の基盤  
的な建物を含む

有識者会議での機構長の説明

# 設計・建設に必要な人員・人件費

5000円/人・時

日本標準仕様経費	外資負担 経費 (100%)	共同負担 経費 (100%)	総費 合計 (100%)	円換算 経費 (億円)	円換算 手戻率 (%)	人件費 (人・年)	人件費 率
TDR経費	1.50	6.28	7.78				
日本で建設した場合の経費 (TDR, PPP 費算)	1.76	6.23	7.99				
日本で建設した場合の経費 (高圧線+換算) 1USD=100%、2EUR=115%	1.76	3.47	7.58	8,300	2,160	22.9	5.5

## 建設時労務量

研究+技術者 4300人・年  
 運営・事務職員 1600人・年  
 技能・作業員、PD 4000人・年

計 ~9900人・年/期間 :  
 1070~1280億円(業務委託~40%)

## 搬入据付労務量

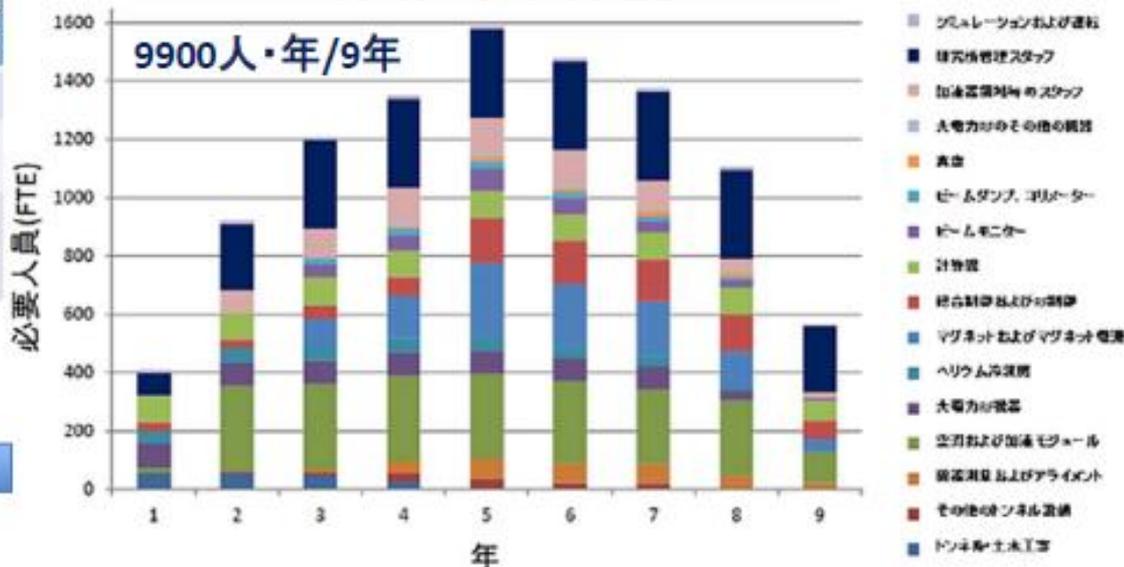
研究+技術者 340人・年  
 運営・事務職員 160人・年  
 技能・作業員 2900人・年

計 ~3400人・年/期間 :  
 300~320億円(業務委託~80%)

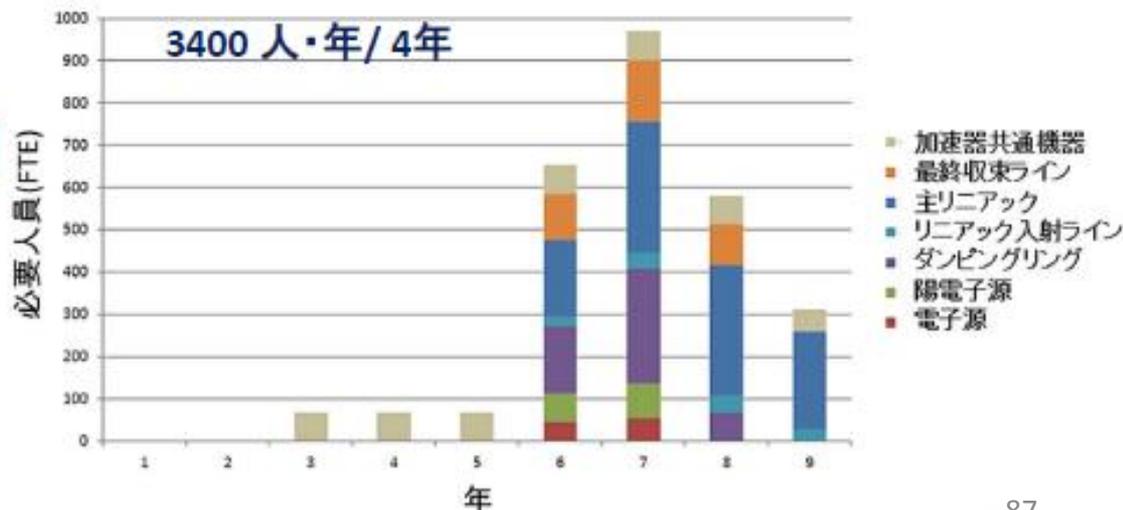
研究者・技術者：7000~9000円/人/時

総計=1370~1600億円

建設必要人員(機器設置を除く)



機器設置の必要人員



## 段階的エネルギー増強シナリオと経費内訳

### (1) 建設・コミッショニング (10年間)

- 250GeV用加速器・土木・施設・研究所建物:フルスペックの76%のコスト
- トンネルはフルスペックの31 km

### (2) 第一期250 GeV運転 (5年間) + エネルギー増強 (1年間)

- 人件費:850FTE、機器保守費:設備費の3%、電気代:2012年12月時点

### (3) 第二期370 GeV運転 (5年間) + エネルギー増強 (1年間)

### (4) 第三期500 GeV運転 (8年間)

加速器	土地	土木・施設	測定器	人件費	電気代	機器保守	計
6,700	50	1,600	900	2,900	2,200	2,900	17,250

着工から30年間の総経費 (建設12年+運転18年) : 17,250億円  
575億円/年 : 世界で分担

### 日本の経費分担 (例)

- 土木・土地:100% → 1,650億円
- 機器・電気代:50% → 4,450億円
- 機器保守・人件費:33% → 1,920億円
- 測定器:20% → 180億円

30年間総額8,200億円  
年平均:275億円