

# ILC-TDR コスト見積概要

ILC 技術設計報告書検証作業部会

2014.06.30

設楽哲夫 (KEK加速器研究施設・ILC推進準備室)

# 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シング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。

## 15.3 見積範囲

- 重心系エネルギー500 GeV の衝突型線形加速器の建設コスト
- 1 TeVへのエネルギーアップグレードのためのコスト見積は含まれない。ただし、後からアップグレードをするのが難しいビームダンプやビームデリバリートンネル等の項目は含む。
- 測定器に関しては、他の大型施設の測定器の建設と同じように、協力機関が別個の合意契約に基づいて出資分担することを前提とする。しかし、測定器のための土木工事(組立用施設、地下実験ホール、シャフト等)は、本算定に含まれている。
- 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、その他の準備活動は本予算に含まない。
- 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も含まない。
- ビームコミッショニング、運転、解体のコストも含んでいない。
- 税金、偶発事項と物価上昇も含んでいない。
- ILC 建設期間は9 年を想定し、すべてのコンポーネントが設置され、試験され、ビームコミッショニングが可能な状態となった時まで。各項目の評価額は、プロジェクトが資金を獲得した日から、それらの設置、試験、コミッショニング準備が完了するまでのコストをカバーする。

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に、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、ビームコミッショニング費、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。



# 「Value 評価法」の位置付け

- TDR のValue 評価におけるValue/Labor 評価額は、協力機関がどの部分の貢献を分担するかを決めるための基礎資料となるものである。
- それぞれの協力機関は、ILCプロジェクトのマネジメント側とプロジェクトに対してどのくらいのValue もしくはLabor を貢献するか合意を交すことになるが、それらの貢献は現物出資やサービスの形態となる可能性もある。
- 本Value評価は、それらの貢献におけるValue/Labor 項目を具体的に文書化するものである。
- 協力機関はその後、それぞれの国の会計制度で査定を行い、合意を交わした項目の提供に責任を負うことになる。

## 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。

## 15.4.2.2 PPP 指数採用の動機

評価額の算定に関連するもの：

- ある項目のValue を評価する場合、一般的には異なる地域の同一製品のコストをそれぞれの通貨で見積る。こうした見積りは地域で作成され、通常は見積が行われたその地域の製造者の製品コストが用いられる。これらのコストを比較して妥当な最低コスト(項目のValue)を算定するため PPP 指数を用いて換算を行えば、為替レートの使用により生じるコストの歪み(distortion)に左右されなくなる。

評価額の利用に関連するもの：

- ILCプロジェクトでは現物出資による貢献を想定しているが、その地域の予算に基づき現物出資について検討・評価しようとする地域の協力機関は、各項目のコストがPPP 指数に基づくILCU 建てで示してあれば、対象項目(コンポーネント)を自国で製造することを想定した場合、PPP 指数を用いて自国通貨に換算することができる。PPP を用いた換算法は、現在も将来も、変動しやすい為替レートに左右されることがない。なお、この方法で換算した現地通貨のコストは、最初にコスト算定が行われた地域や通貨とは全く関わりがなくなる。

# 15.4.2.3 PPP 指数の使用における問題点

## 1. コスト要素の種類の依存

PPP はコスト要素の種類(例えば消費財、食品、技術機材等)により異なってくる。OECD や関連機関もこれを認識しており、さまざまなコスト要素に対応するPPP 指数が別個に発表されている。ILCにおける主なコスト要素は、「土木」と「装置/機械」の2種類であり、それぞれのPPP 指数で対応している。

## 2. 正確性

本Value 評価は、米ドル以外の通貨に関しては換算にPPP 指数を用いることから、Value 評価の精度はPPP 指数の正確性にかかってくる。ユーロスタット及びOECD によるPPP 指数決定のためのコスト調査は包括的で裏付けがしっかりしているため、世界の多くの国際機関がこのPPP 指数を採用している。先進工業国におけるPPP 指数の標準エラーは5～8%と推定されるが、為替レート換算で生じるコストの歪みや現地通貨を用いたValue 評価そのものに付随する全体的な不確かさに比べれば概して小さい。

## 3. 外挿

TDR作成時に利用可能な公開されたPPP ベンチマーク調査は2008 年のもので、その次に実施された2011 年の調査結果は2013 年公開予定であった。OECD の推奨するところによれば、PPP 指数は2008 年PPP 指数から外挿可能で、これは2008 年から2012 年までのインフレの相対国内比率に基づき2カ国の通貨を指数で関連付ける方法である。この外挿で生じるエラーは5%以内に留まると思われる。

## 4. 地域調達と国際調達

PPP 指数を用いて現地通貨に換算したコンポーネントのValueは、その国・地域の現地通貨で製造・購入するコンポーネントのコストに相当する。為替レートの変動により、その地域の通貨が他の地域に比べて割高になった場合、そのコンポーネントの現地通貨コストは相対的に安くなる可能性がある。この場合、各国・地域の協力機関はコンポーネントを地域で製造するか(この場合、地域産業に利益をもたらす)、あるいは他の地域から調達するか(この場合、現地通貨をあまり必要としない)を選択することができる。

## 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

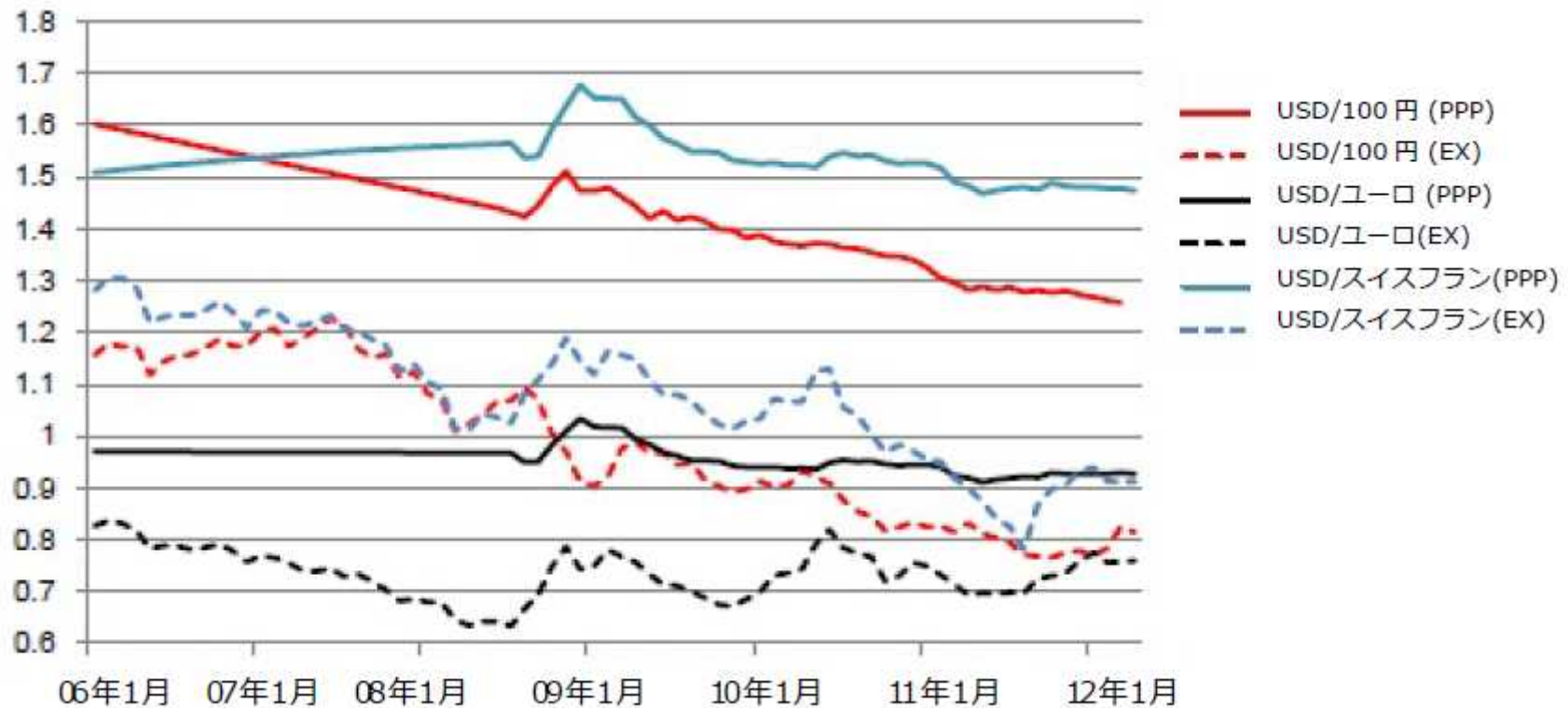
### 例外) 空洞用の超伝導材料

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。

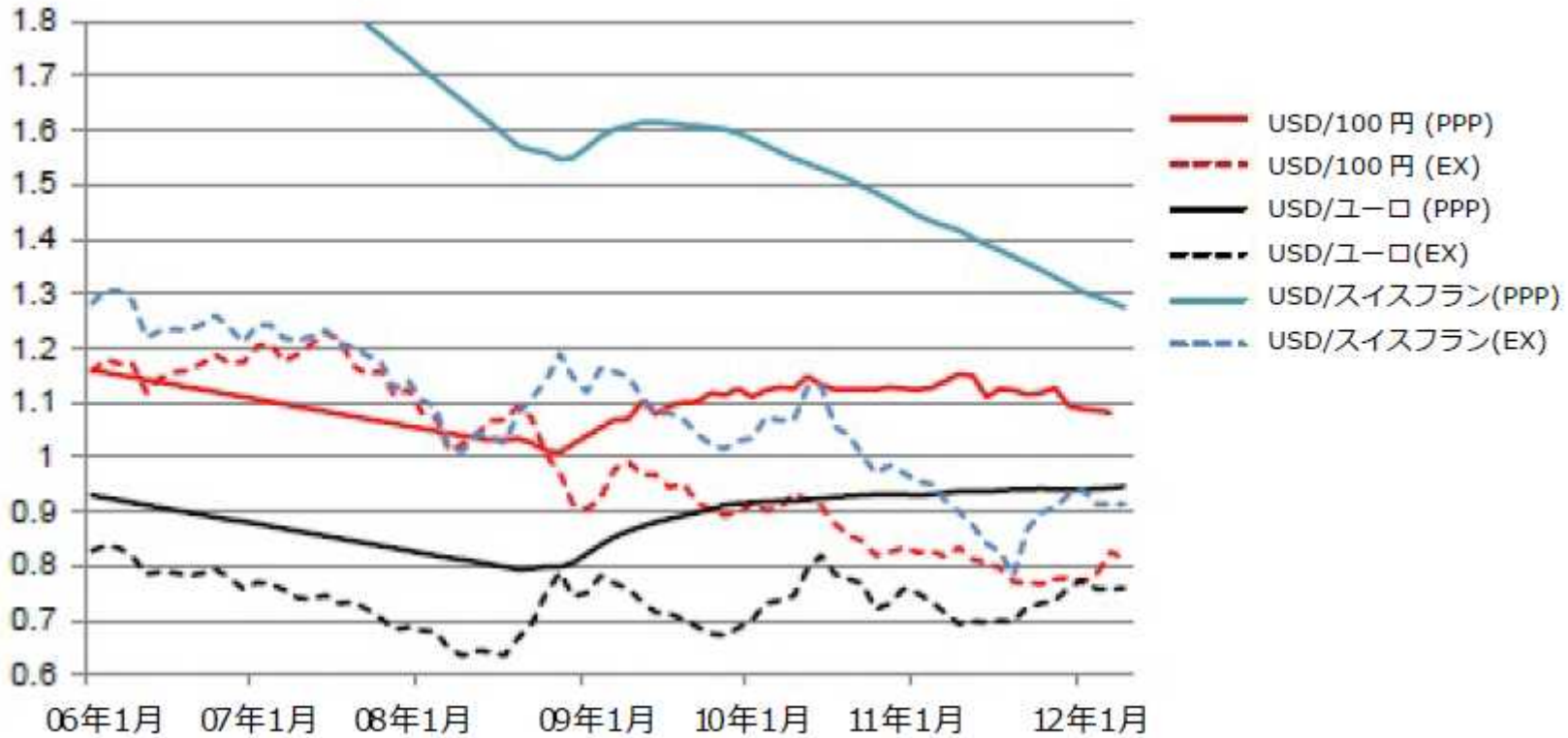
表 15.2. ILCU と各通貨間の通貨換算係数 (2012 年1月時点)。コスト要素を ILCU から指定通貨に換算するには、コスト要素の種類に適切な係数を乗じる。

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

# 図15.2 PPP 指数と為替レート 機械と装置



# 図15.2 PPP 指数と為替レート 土木



# 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、受入れ、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であり、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位置、トンネル長などは多少異なるものとなる。
- 一方、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。

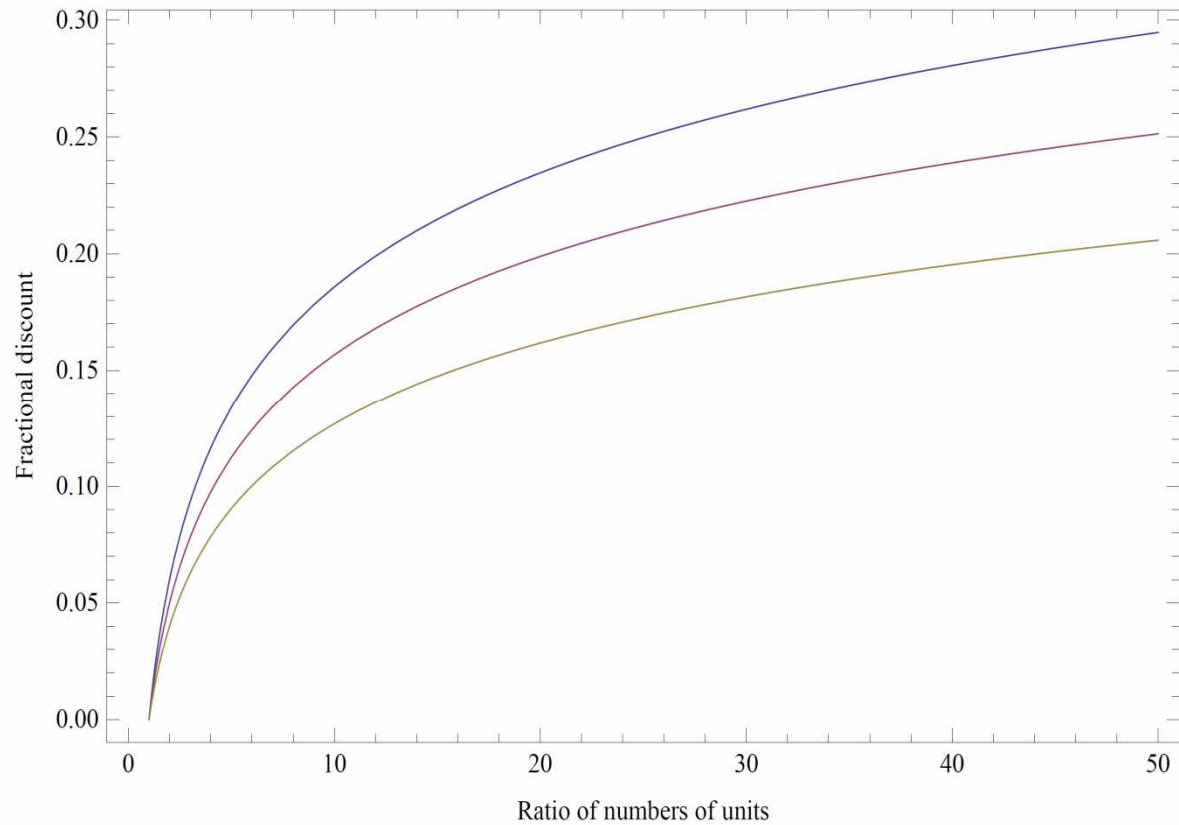
## 15.5.3 経験(習熟)曲線

- 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%

# 習熟曲線の例



# 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

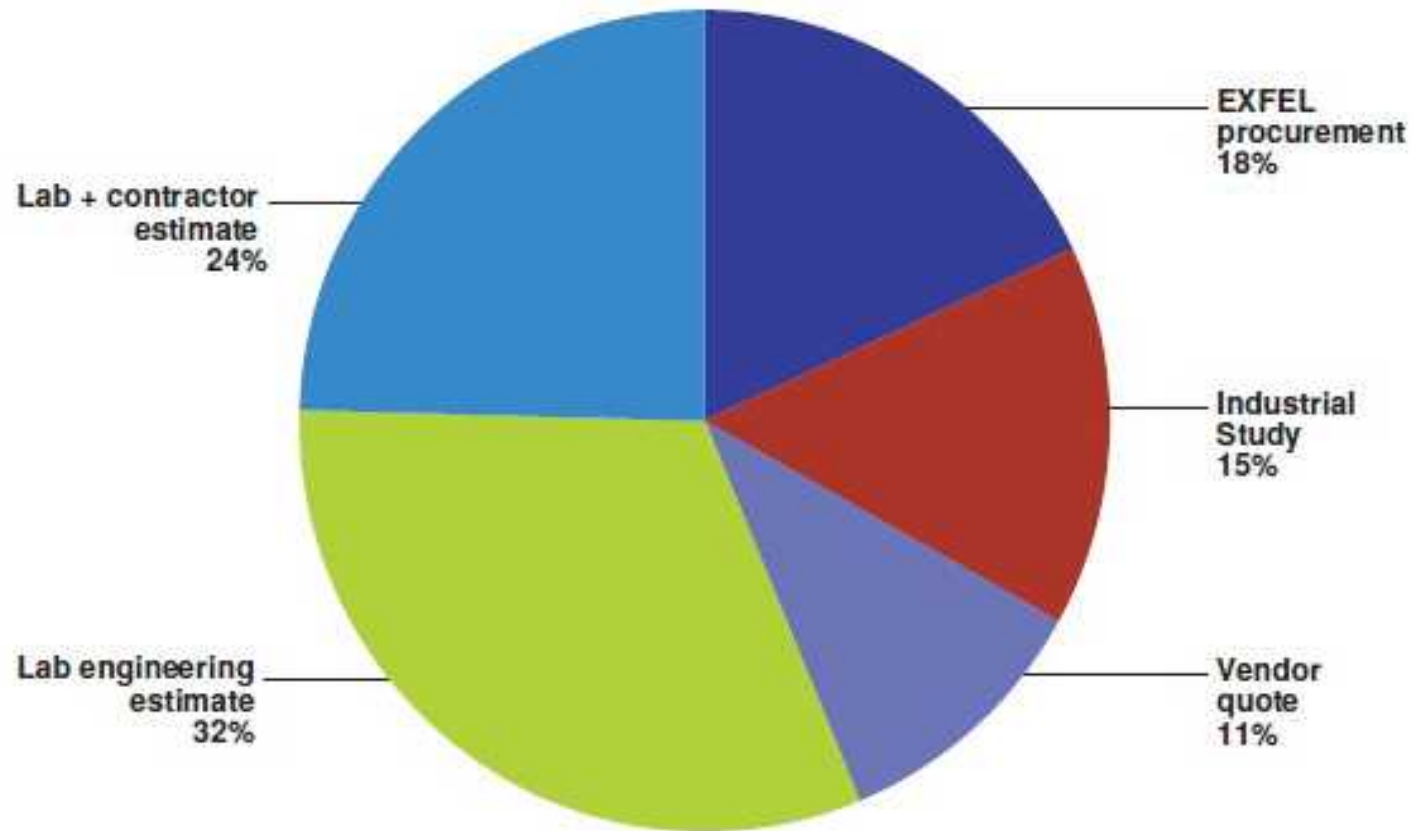
- 加速空洞とクライオモジュールに関しては、コストに占める比率が大きいこともあり、TDR でも新たに算出している。採用したコスト算出ベースについて、概念設計書(RDR)やその他のコスト情報も示しながら解説している。
- コストに占める比率が次に大きいCFS の主要項目についても、TDR でも新たに算出している。3 地域のサイトにおける土木工事に関するコストベースやサイト特有の要因による地域間の差異、さらにはアジア及びアメリカのサイトにおける標準的な電力、機械、安全システム、ハンドリングシステム(handling systems)、測量やアライメントのコストベースについて解説している。
- Lバンドハイレベル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。

\* (詳しくは次回以降の該当する回で)



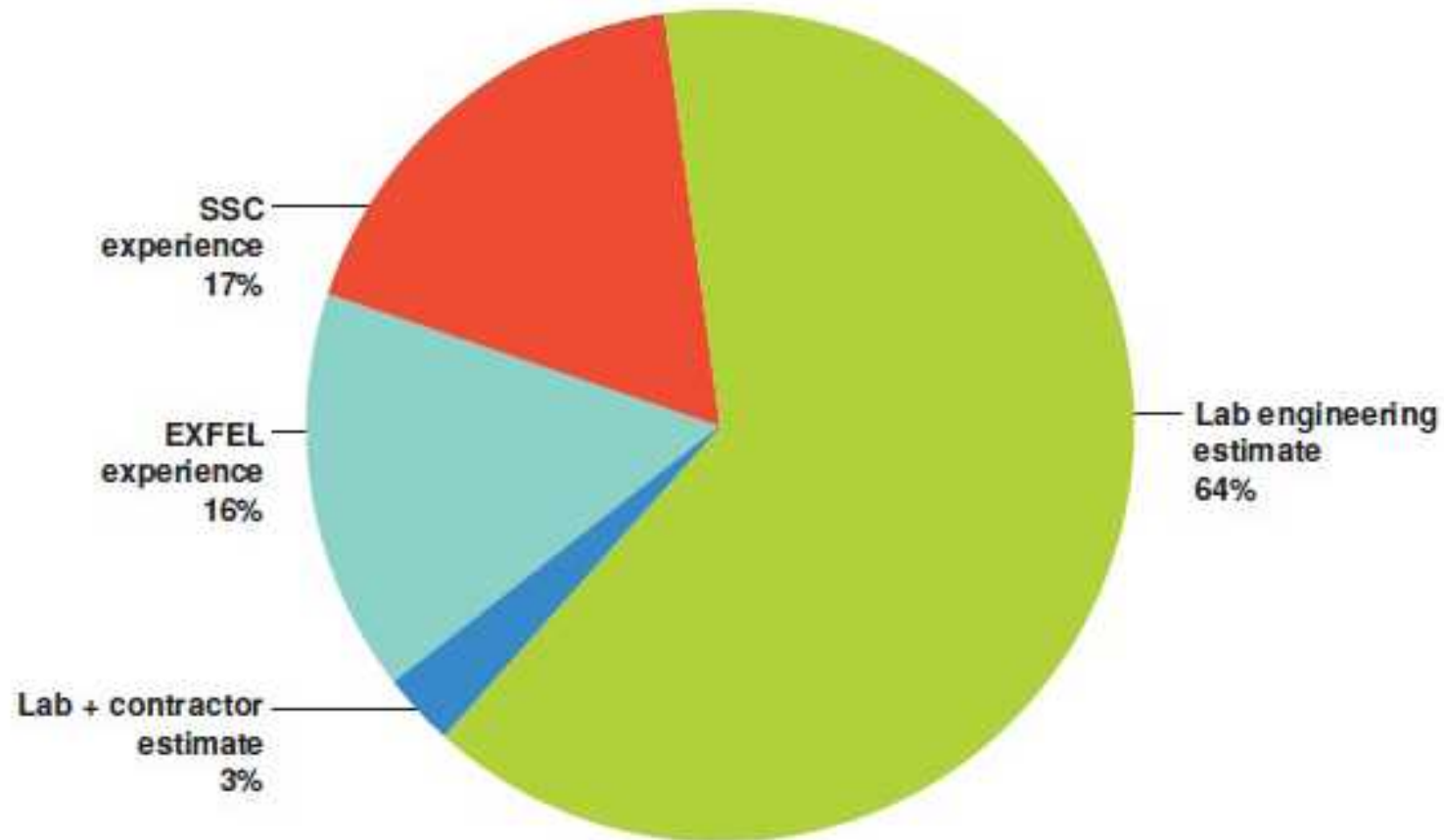
# 15.7.15 コスト算出ベースのまとめ

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

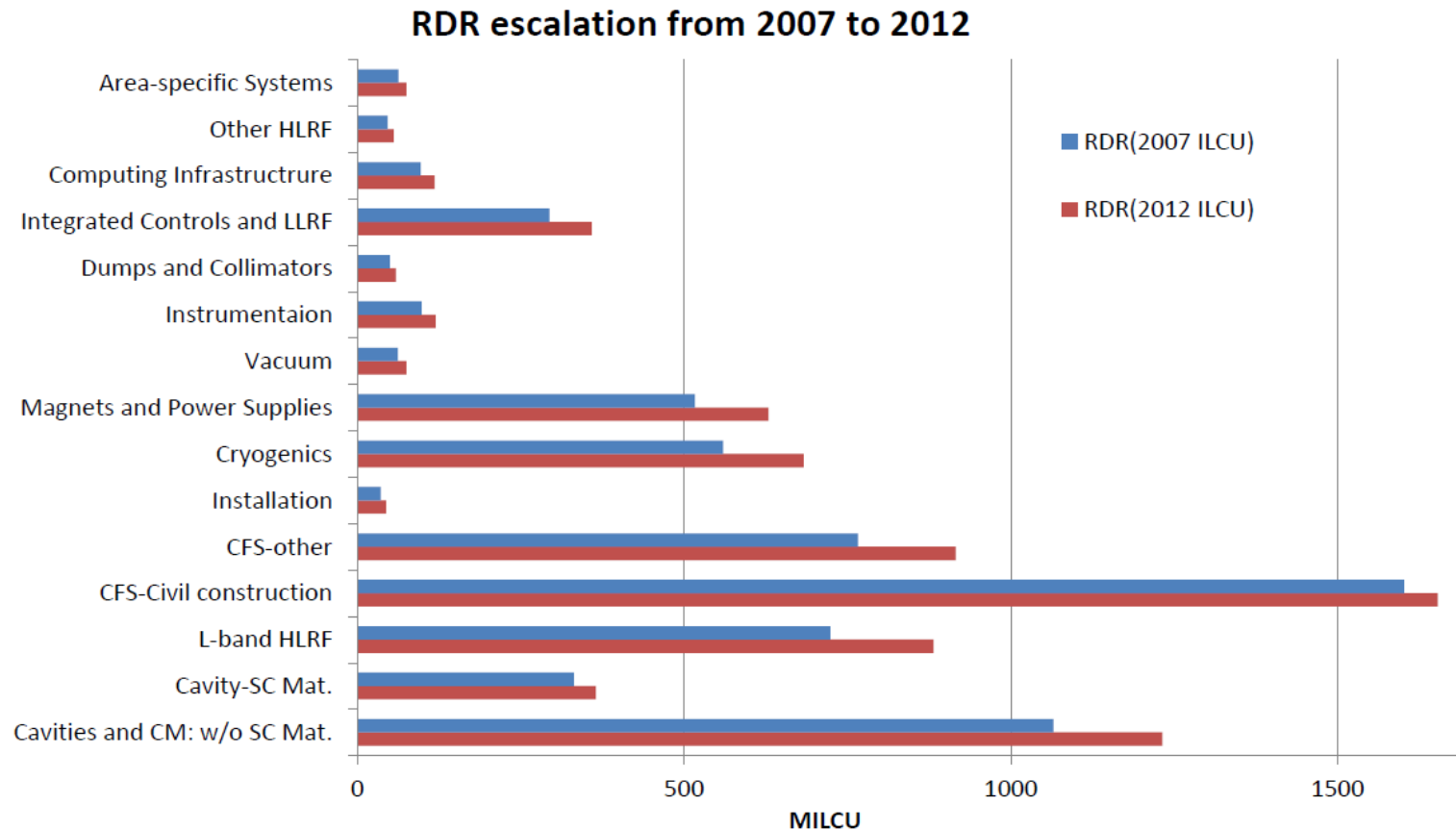


図15.6 RDR 見積2007 年を2012 年に修正したもの。RDR 見積の修正(赤)は7,266 MILCU、青は2007 年のPPP 指数に基づきILCU 建てに換算した RDR 見積で 6,312 MILCU。2012 年(7,266)と2007 年(6,312)のRDR 見積の比率は1.15 で、これが米ドル建てプロジェクトのコスト要素それぞれの平均のインフレ率である。

## 15.8.2 TDRのValue見積

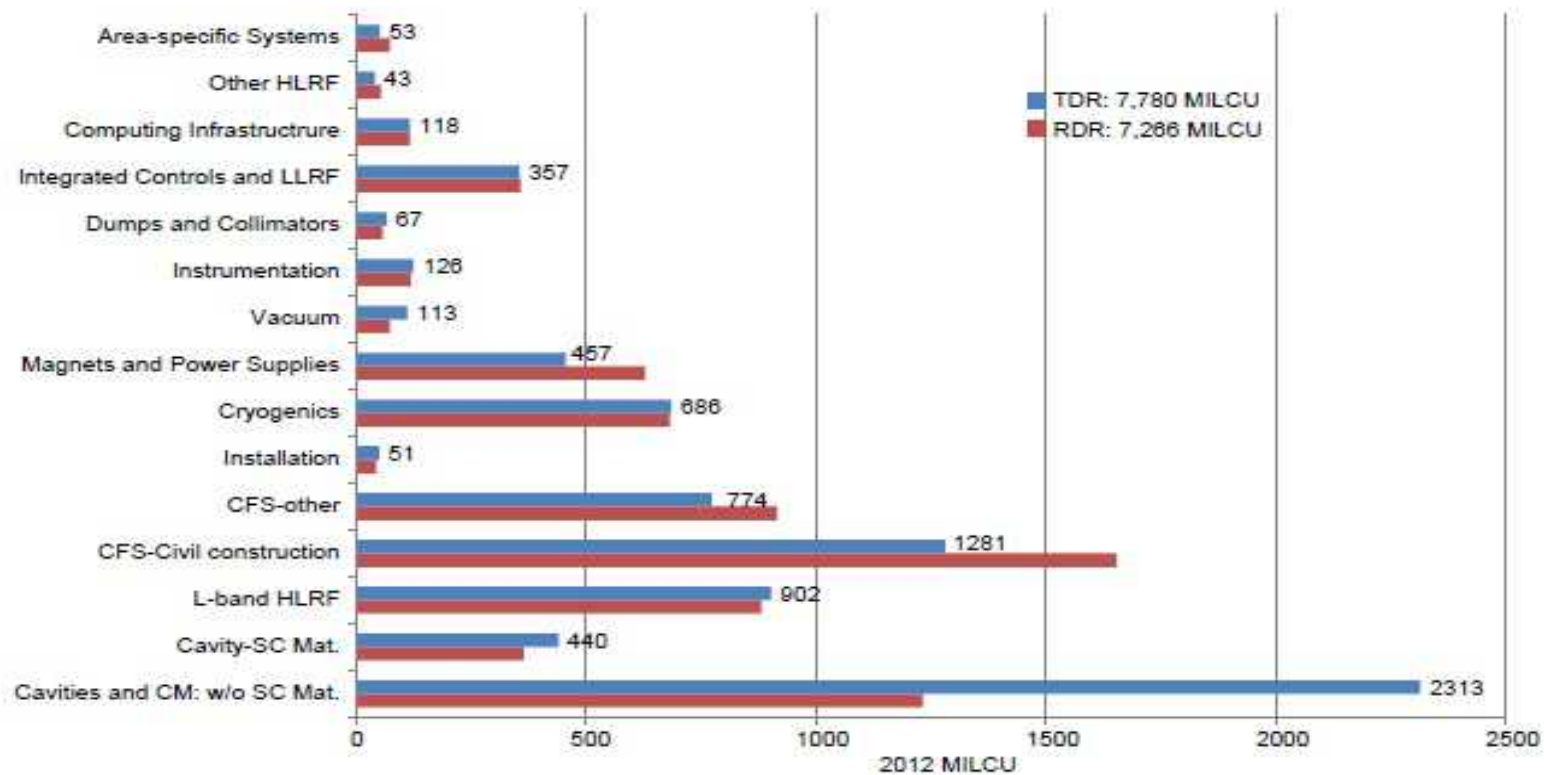
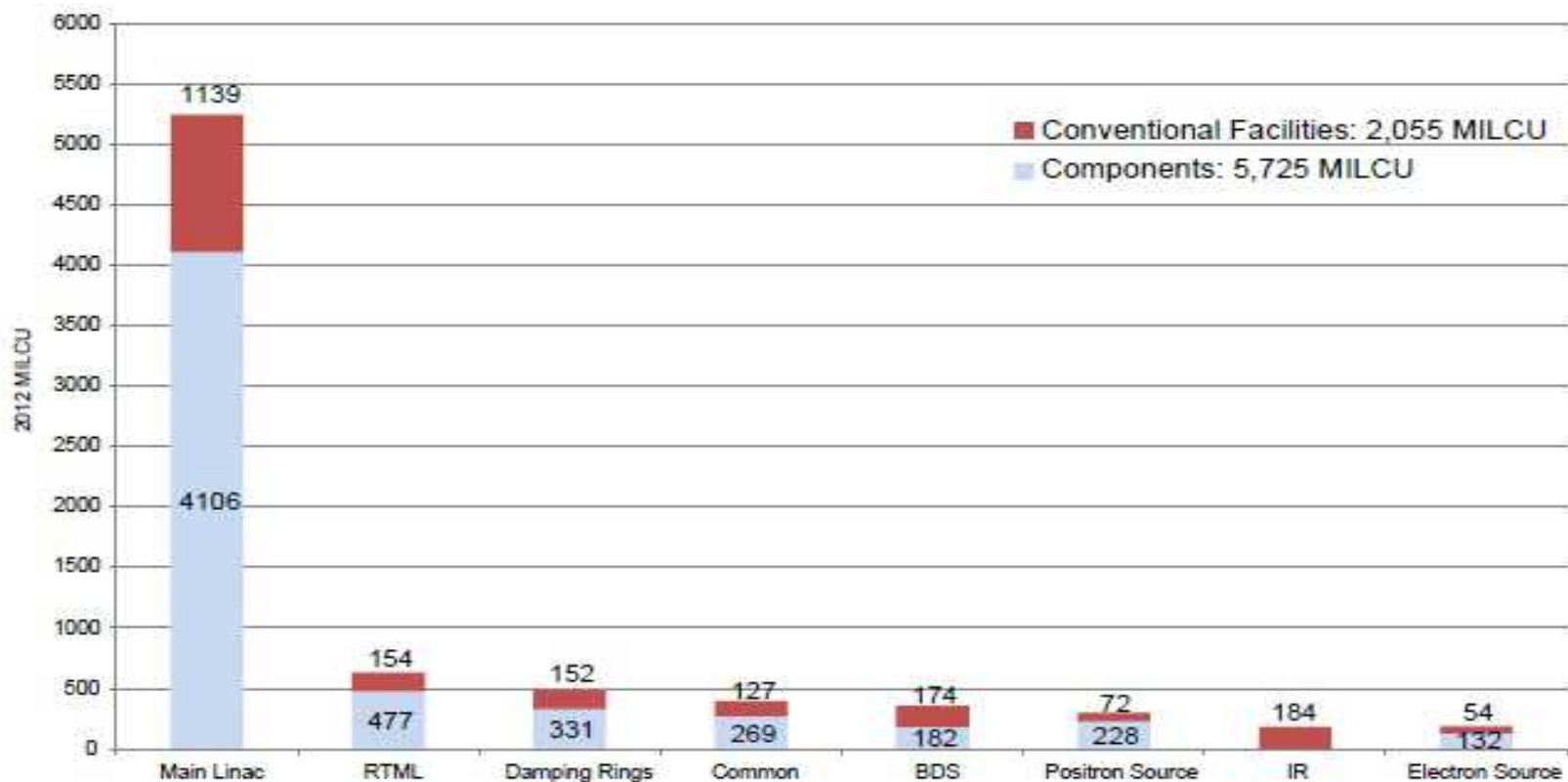


図15.7 TDRにおける加速器システムのValue見積(ILCU建て、MILCU単位)。比較のためRDRの修正評価も示している。

# 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

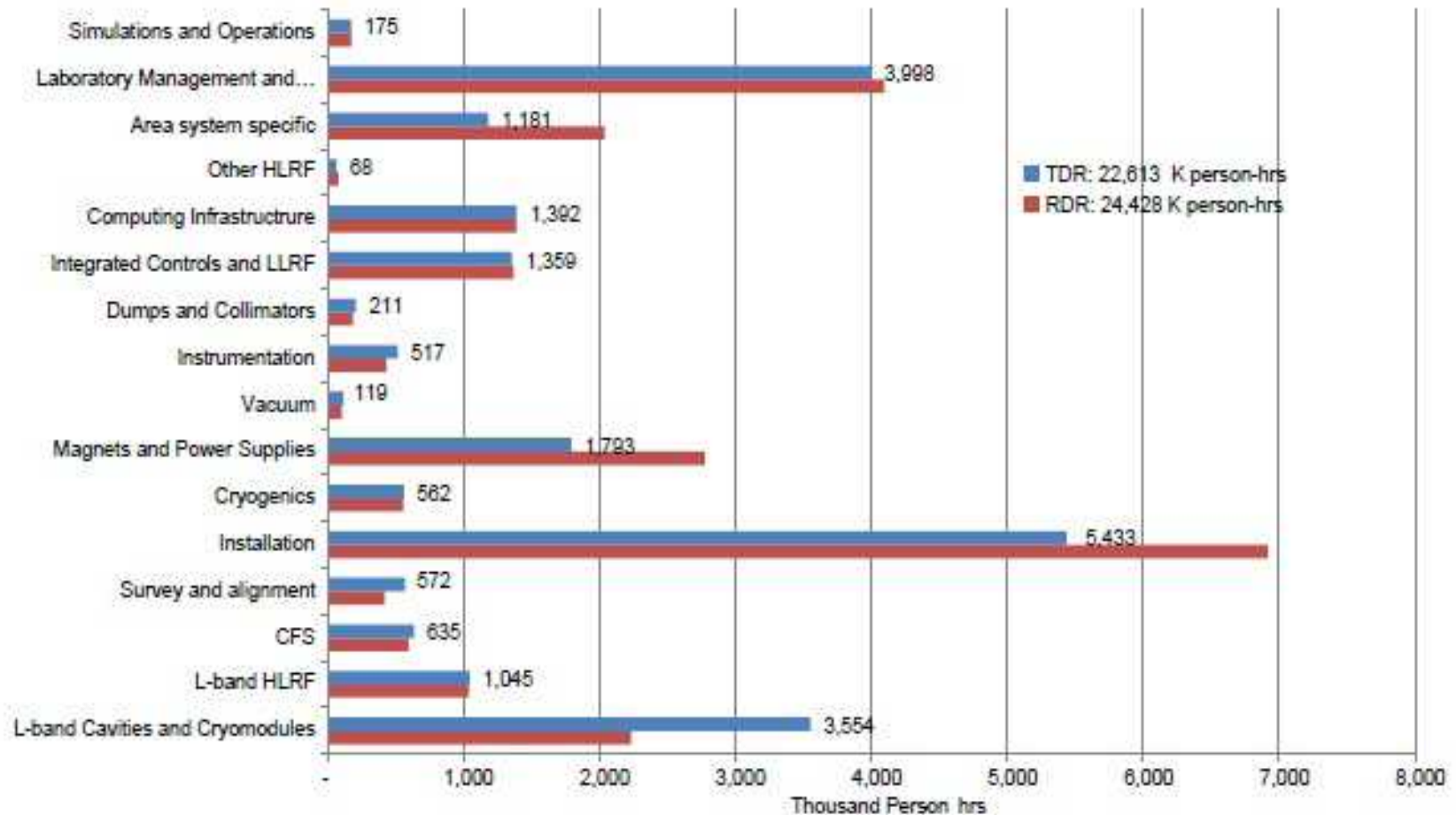


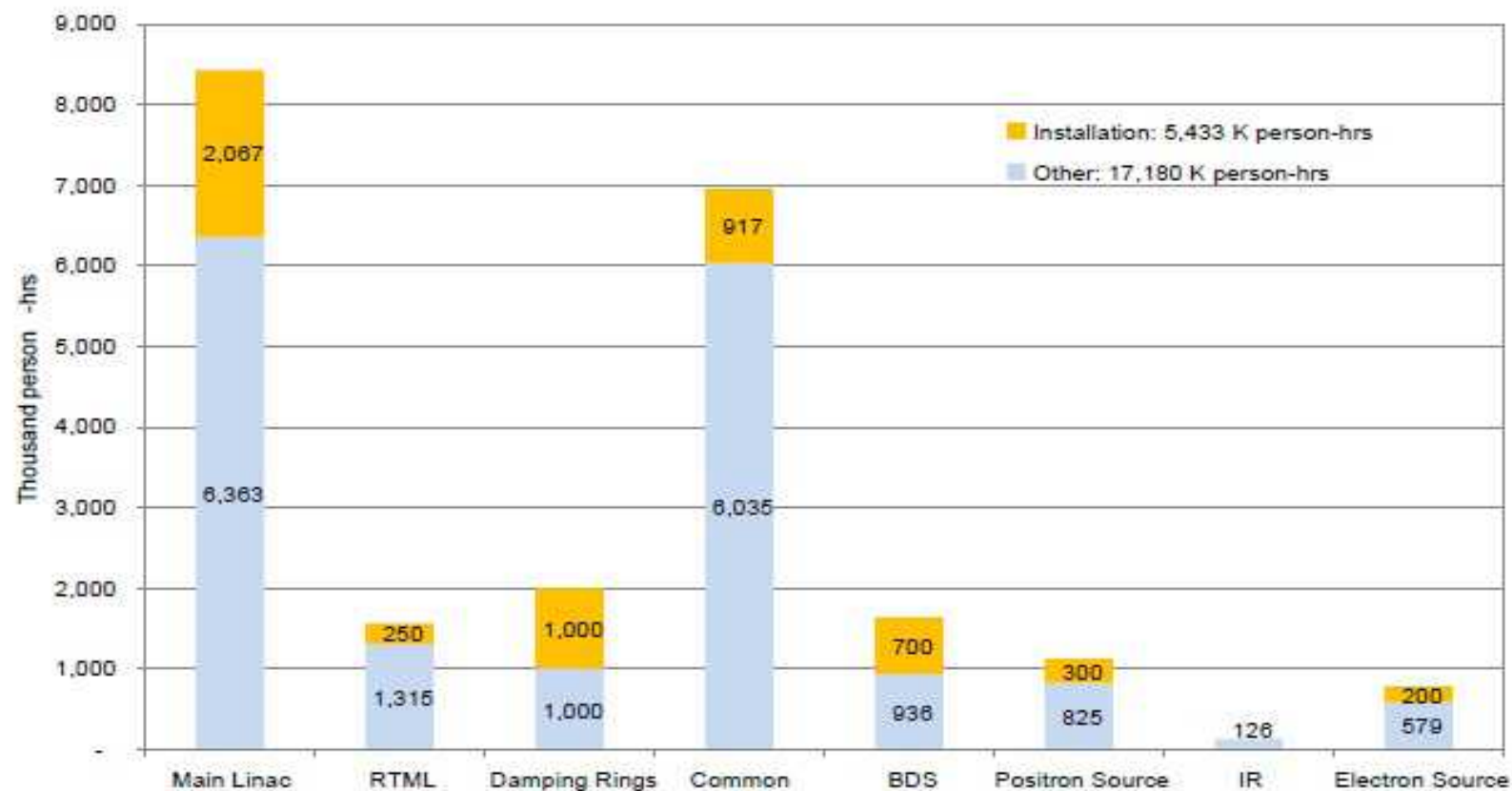
図15.9 協力研究所または機関から提供される直接労務を、専用システム及び加速器特有のシステム毎に示している。TDRにおける各システムのLabor見積は千人時単位。比較のためRDRのLabor見積も示す。

## 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。

## 15.8.4 Value/Labor見積におけるサイト依存性

- Value/Labor見積は、サイト特有と共通部分に分類する。
- サイト特有の要素: その規模や、複雑さ、サイトの特異性を考慮して、ホストとなる国地域がサイト特有の部分を負担するもの。例として、土木工事(トンネル、シャフト、地下ホールとキャバーン、地上建屋群、サイト開発作業)、主要高圧電源装置、中央変電施設、中規模電圧分配、送電ライン(transmission lines)、主冷却水塔(primary water-cooling tower)、主要ポンプステーション、配管など。
- 共通部分の要素: ホストと参加機関で分担するもの。例えば、大部分の加速器コンポーネントやCFSのその他の項目(低電圧電力配分システム、非常用電源、通信システム、HVAC、配管システム、消火システム、二次的水冷却システム、エレベーター、クレーン、ホイスト、安全システム、測量、アライメント)など。

# 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

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。

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

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

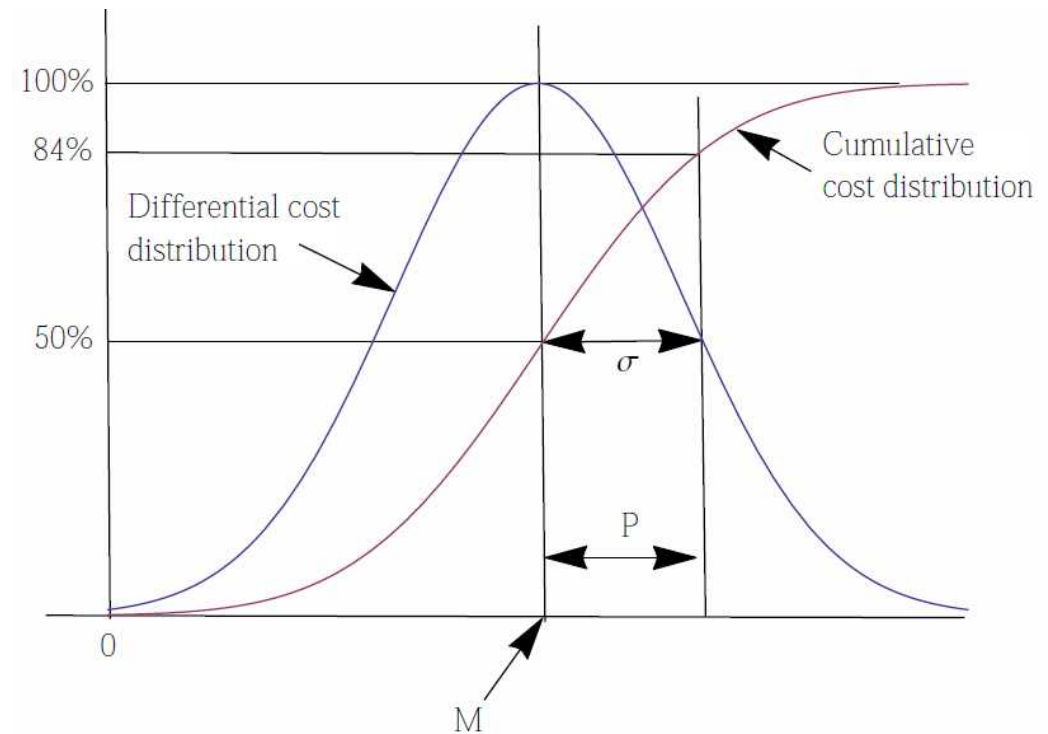
- TDR のValue/Labor 評価における不確定性評価では、コストリスクのみを評価（技術リスク、スケジュールリスク、市場リスク、あるいは意図せず除外された項目等は、含まれていない。また、大量のin-kindによるプロジェクトに伴う潜在的なコストリスクやスケジュールリスク等も含めていない）

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るれば、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。

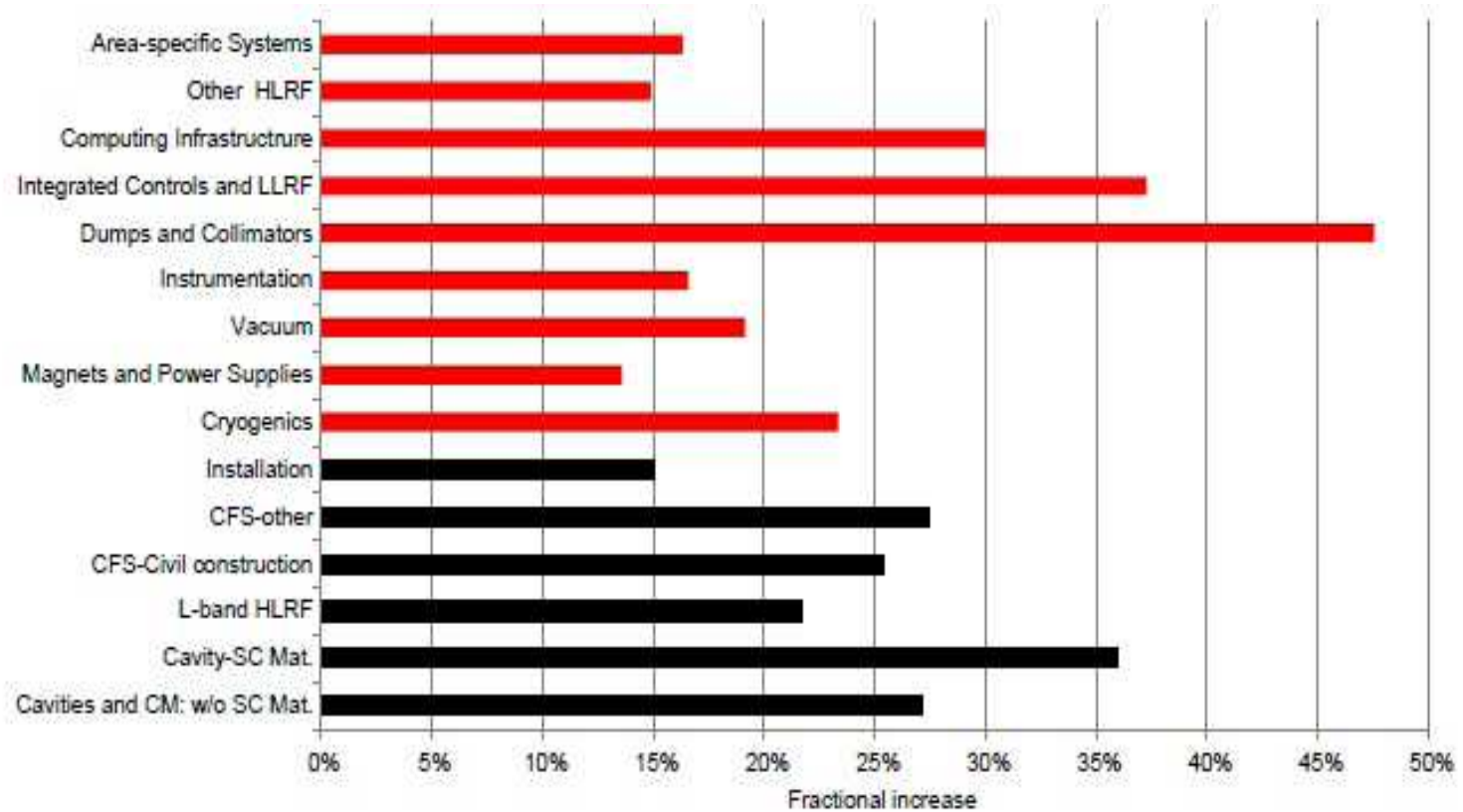


# TDRで採用したコスト情報源の違いによるプレミアム

<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%

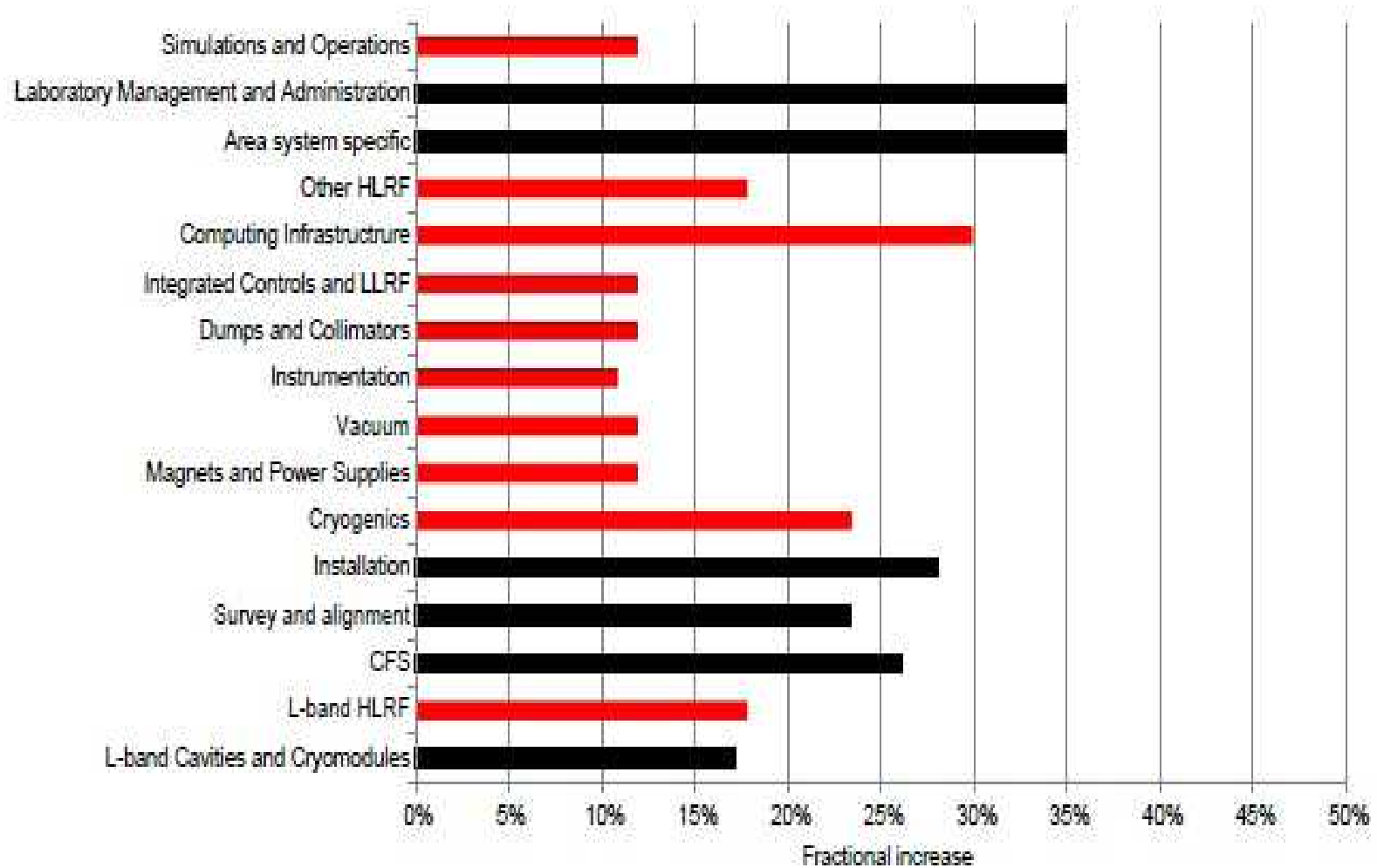
TDRの不確定性: 基本プレミアム、数量割引の半額、特別プレミアムの線形和

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

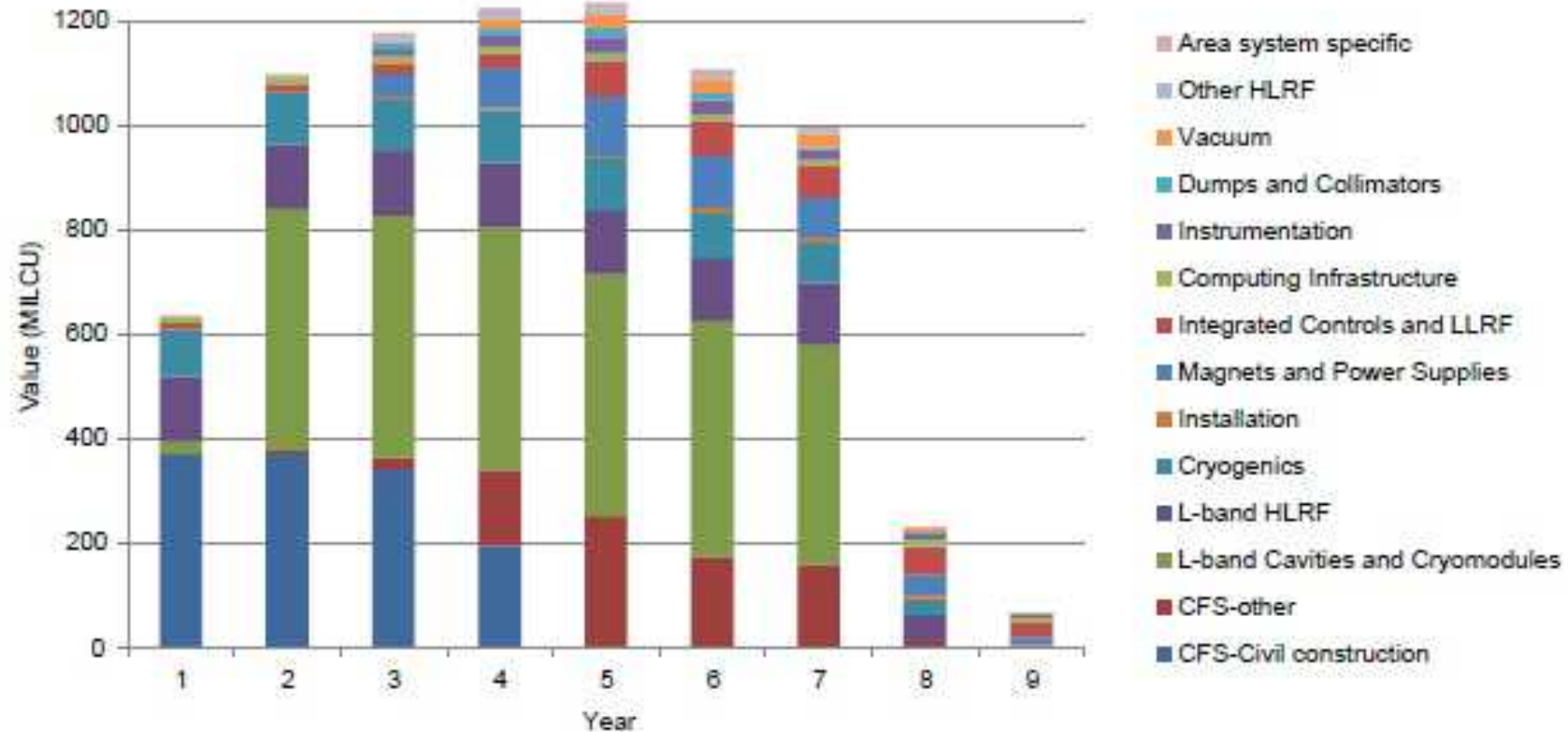


図15.13 一定の資金プロファイルを前提とした加速器システム別のValueのタイムプロファイル  
土木工事が前半に集中することや、また空洞/クライオモジュールに関しては7年間の製造スケジュールのうち約6年間に製造が集中することを示している。所要コストは4年目と5年目にピークを迎え、ピーク時の所要コストは約1,200 MILCUとなる。

# 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)

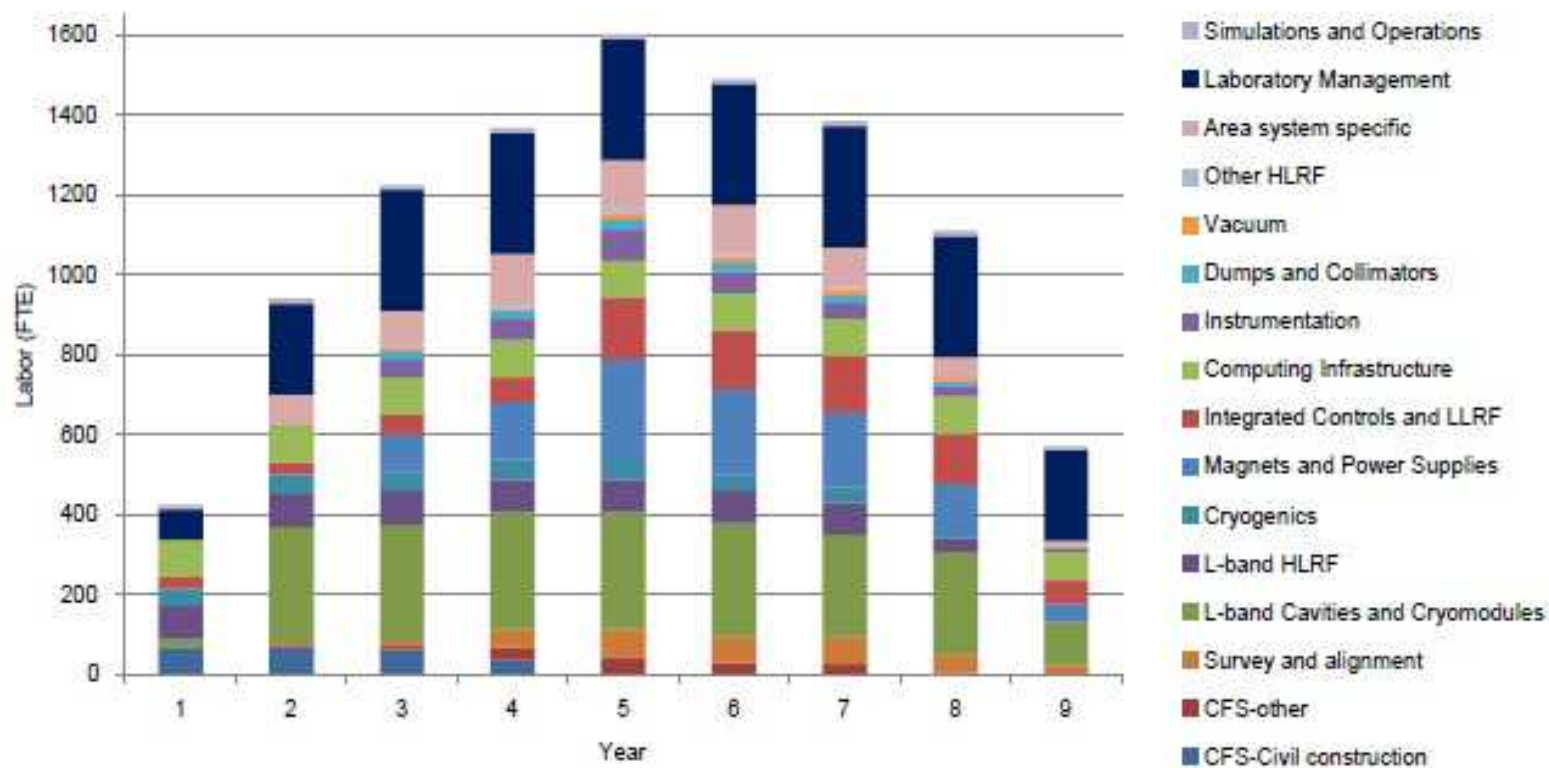


図15.14 加速器システム別にLaborのタイムプロファイル(搬入と設置を除く)  
 プロファイルは人員単位(FTE)で示しており、年間所要人員は1700人時を仮定している。  
 労務の所要人員は5年目にピークを迎え、ピーク時は約1600 FTEである。

# 搬入/設置のプロジェクト年別労務プロファイル

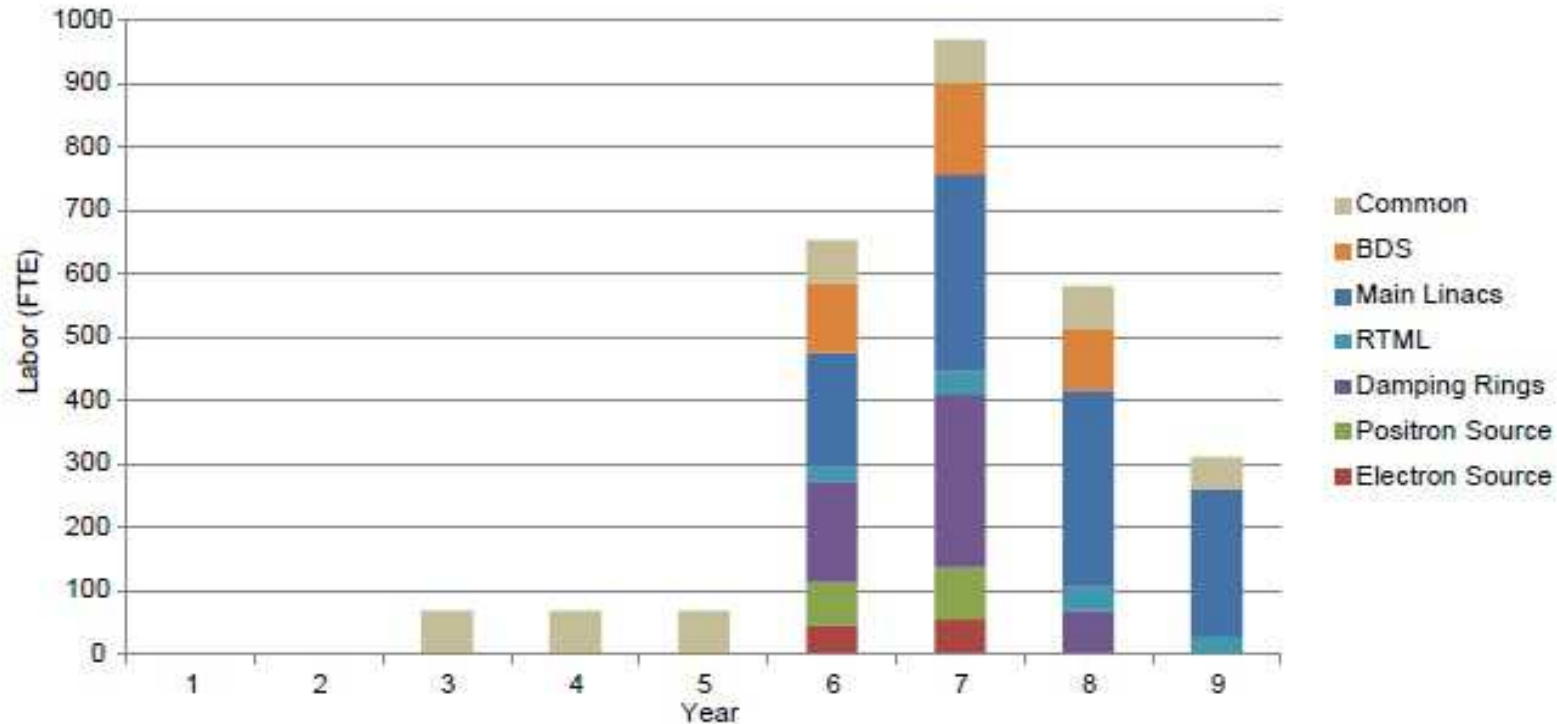


図15.15 搬入/設置のLabor プロファイル

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。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。

## 15.12 アップグレードとステージングオプションに関する Value/Labor見積

### 15.12.1 ルミノシティアップグレード:バンチ数を倍増することで平均ビームエネルギーを倍増

- 主ライナックに追加のRF 電力源(クライストロンとモジュレータ)を増設
- ダンピングリングトンネル内に追加の陽電子ダンピングリングを増設

#### • 15.12.1.1.1 L-バンドハイレベルRF システムの変更

- 220セットのクライストロンとモジュレータを増設(KCS system)
- 189セットのクライストロンとモジュレータを増設(DKS system)
- 3セットのクライストロンとモジュレータを増設(5 GeVポジトロンブースター)

#### • 15.12.1.1.2 CFSの変更

- ビームエネルギー増強と主ライナックのRF 電源の増設に伴うCFS 機械/機器設備の増強
- アメリカ地域の標準的なベースライン見積に基づき評価

#### • 15.12.1.1.3 ダンピングリングの変更

- トンネル内に陽電子ダンピングリングを増設
- 4 台のRF 空洞を追加
- ベースライン見積に基づき評価

#### • 15.12.1.1.4 共通の変更: 共通項目(CFS、搬入/設置、制御システム)は、加速器関連システムのValue またはLabor変更量から単純にスケーリング

### Value/Labor増加見積

- 全体的なValue 増加額は483 MILCU :500 GeV のベースライン加速器のValue 評価の約6%
- 全体的なLabor 増加額は1,537 千人時:500GeV ベースライン加速器のLabor 評価の約7%

## 15.12.2 1 TeVエネルギーアップグレードのValue/Labor見積

- ◆ ルミノシティアップグレードしたベースライン加速器のビームエネルギーを250GeV追加する。追加のSCRF ハードウェアを設置するため主ライナックのトンネルを延長し、主ライナックの新しい低エネルギー側に、RTML ターンアラウンドとバンチコンプレッサーシステムを新たに建設し、そして長い5 GeVビーム輸送ラインを延長する。陽電子生成アンジュレーターは、500 GeV ビームエネルギーに適したものに交換し、必要となる高い偏向力を得るために偏向電磁石をBDS に増設する。
- シナリオ A: 平均加速勾配31.5 MV/m の空洞などのベースラインSCRF 技術を用いて、ライナックの延長を行う。シナリオ A では260 GeV の主ライナックを増設する。ベースラインライナックのエネルギーが235 GeV であることから、基本的にはこの追加によりエネルギーは $260/235 = 1.106$  にスケールアップされることになる。新しいライナックの加速勾配はベースラインの加速勾配と同じであるため、追加するトンネル及びライナックの長さは、このエネルギーと同じ係数でスケールアップした長さとなる。追加冷凍力負荷(load)はベースラインの70%である。
- シナリオ B: 平均加速勾配45 MV/m の空洞などの改良SCRF 技術を用いて、ライナックの延長を行う。シナリオB でも260 GeV の主ライナックを増設する。基本的にはこの増設によりエネルギーは1.106 にスケールアップされることになる。しかし、新しいライナックの平均加速勾配は45 MV/m のため、追加するトンネルとライナックの長さは $1.106 \times 31.5/45 = 0.774$  でスケールアップした長さとなる。追加の冷凍力負荷(load)はベースラインの60%である。
- シナリオ C: 主ライナック全体を撤去し、平均加速勾配45 MV/m の空洞など改良したSCRF 技術を用いて、ビームエネルギー500 GeV を得られるに足る長さのライナックの延長を行う。シナリオC では、電力・冷凍機・CFS 支援に関しては、260GeV の主ライナックを増設して対処することになるが、しかしライナック全体の空洞とクライオモジュールの交換を行う。この交換は485 GeV のライナックを増設するのに相当する。ベースラインに対するライナックの長さスケール係数は $485/235 \times 31.5/45 = 1.445$  であるが、増設するライナックトンネルのスケール係数は0.445 である。追加の冷凍力負荷(load)はベースラインの50%である。

# 1 TeVエネルギーアップグレードのValue/Labor見積

## 仮定

- ルミノシティアップグレードが先に行われる。
- 改良したSCRF 技術を用いた空洞とクライオモジュールのValue 算定では、単位長あたりのコストはベースラインSCRF 技術のものと同じ。
- システムのValue/Labor はコンポーネント単価が変わらないことを前提に、それぞれ対応する加速器システムのコンポーネント数のみスケールする。
- ベースラインRTMLは基本的に2 倍にして1 TeV マシンの低エネルギー側に設置される。そのためすべてのシナリオでは、ベースラインRTML のValue とLaborを加算する。
- 共通項目(CFS、搬入/設置、制御システム)も、加速器関連システムのValue またはLabor の変更から単純にスケールリングする。

## 15.12.2.2 Value とLabor増加分のまとめ

### Value

シナリオA: 6,706 MILCU (81%)

シナリオB: 5,489 MILCU (66%)

シナリオC: 7,082 MILCU (86%)

### Labor

シナリオA: 11,988 千人時(50%)

シナリオB: 9,416 千人時(42%)

シナリオC: 14,256 千人時(59%)

### 15.12.3 第1 ステージオプション ライトヒッグスファクトリーのValue とLabor

- 重心系エネルギー250 GeV の加速器について2通りのシナリオ
  - シナリオ1： 250 GeV マシンに必要なトンネルと支援シャフト(アクセス通路)のみを建設し、ライナックをトンネル内に設置する。規模は半分となるため、初期マシンにおける最低コストを示す。
  - シナリオ2： 500 GeV マシン用のトンネルと支援シャフト(アクセス通路)一式を第1 ステージの一環として建設し、ライナックを各トンネルの前方部 (first half of each tunnel) に設置し、そこから中央部に通じるビーム輸送ラインを設置する。初期段階(土木建築段階)の投資額は大きくなるが、将来的に重心系エネルギーをアップグレードさせるのが比較的容易。
- 250 GeVの加速器は、電子及び陽電子源、ダンピングリング、ビーム輸送システムは、ベースライン加速器と同じもの。どちらのシナリオも、10Hz (陽電子生成用)で駆動する150 GeV 電子ライナックと125 GeV 陽電子ライナックが必要となる。また、シナリオ1 はベースラインシステムの半分の長さの輸送ラインのあるRTMLを要し、シナリオ2 は基本的にベースラインのRTMLを要する。

# ライトヒッグスファクトリーのValue とLaborの増減

シナリオ1:

- 100 GeV の電子ライナック(及びトンネル)、125 GeV の陽電子ライナック、そしてそれらに対応するRTMLの長い輸送ラインを削減。
- ベースラインライナック全体から削減される電子ライナックの割合は $100/470 = 0.212$ 、陽電子ライナックは $125/470 = 0.266$ 、RTMLの長い輸送ラインは $0.212 + 0.266 = 0.479$ 。
- Value/Labor 増減を算出するにあたっては、システムValue/Labor は、コンポーネント単価が変わらないことを前提として、それぞれの加速器システムの変更から単純にスケーリング。
- 共通項目(CFS、搬入/設置、制御システム)の変更も単純にスケーリングで算出。

◆ 増減額 Value: -2,425 MILCU (約31%)、Labor: -4,583 千人時(約20%)

シナリオ2:

- 100 GeV 電子ライナックと125 GeV 陽電子ライナックトンネル、対応するRTMLの長い輸送ラインを追加。
- 125 GeV または150 GeV のビームをライナックのエンド部からBDSのエントリー部まで運ぶためのビームラインが必要で、このコストはおおよそ5 GeV のRTMLビームラインの同じ長さ部分のものと同額と想定。

◆ 増減額 Value: -1,934 MILCU (約25%)、Labor: -3,563 千人時(約16%)



# オプションにおけるValue/Labor のベースライン比

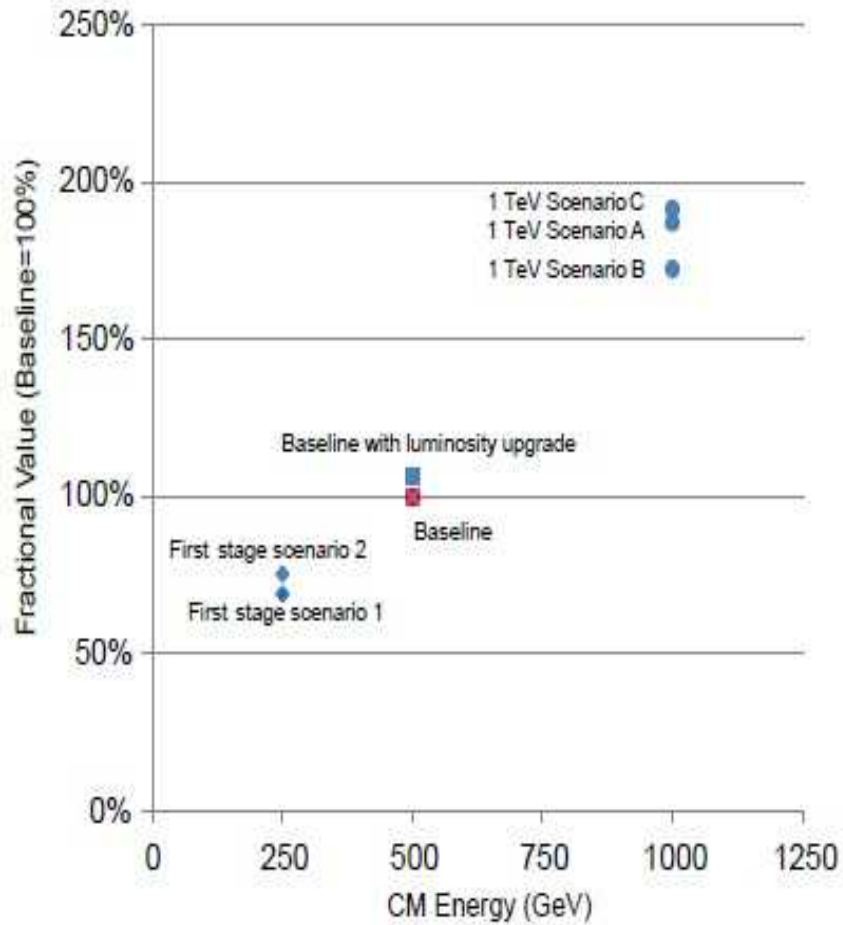


図15.16 アップグレードと準備オプションにおける相対Value 評価

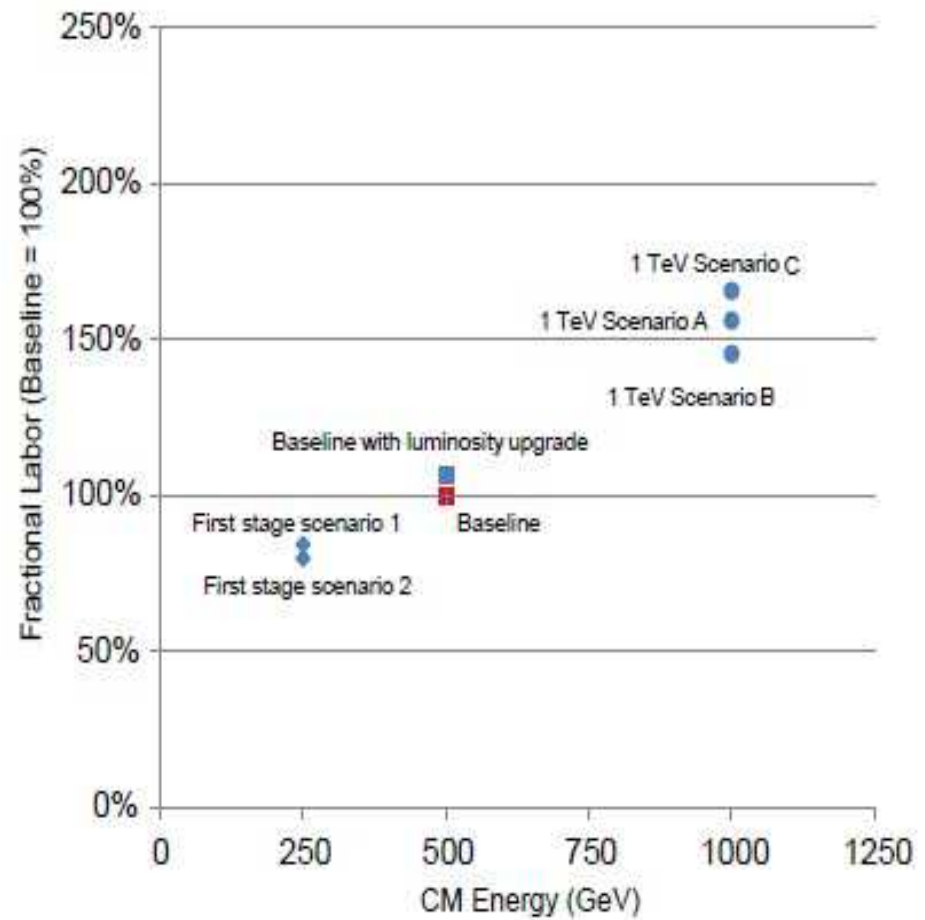


図15.17 アップグレードと準備オプションにおける相対Labor 評価