

## 3.11 コスト及びスケジュール

### 3.11.1 概要

この章では、装置の建設費の概算金額、建設スケジュールと人員の概要、予測される建設後の運転経費と人員について述べる。以下の検討は ERL 計画について初めて行った検討であり、今後、より精度の高い評価や最適化をすることによって、或は設計の進展とともに、改訂を要するものである。

#### 3.11.1.1 見積りの基礎となる装置の概要

ERL 実験施設は、超伝導電子リニアックを用いた入射器と主加速器、挿入光源、実験用の放射光ビームライン、及び、これらの装置のための建物と電気・空調・水の施設から成る。加速器、挿入光源は変形レーストラック状に配置され 1 周約 1.25 km である。入射エネルギーは 10 MeV である。主加速器はエネルギー回収型のリニアックである。主加速器の最大加速エネルギーは 5 GeV として設計されるが、第 1 期計画ではまず 2.5 GeV の加速エネルギーを実現し、第 2 期計画で 5 GeV に増強する。その方法として現在考えているものは、加速空洞の数は変えず、加速利得を 10 MV/m から 20 MV/m に上げる方法である。そのために冷凍機を 3 台追加して冷凍能力を 4 倍に増強する。これは、超伝導加速器では冷凍機が高額なので初期建設コストを抑える上で有効な方法と考えられる。冷凍機関係の装置以外は全て 5 GeV の加速エネルギーで建設される。

以上の装置の建設費用の中には 300 MeV の ERL 実証器等、R & D の費用は含まない。

#### 3.11.1.2 ケーススタディ

ERL の主加速器の超伝導加速空洞については、ビーム集束のために 4 極電磁石でなく RFQ を用いるかどうか、あるいは空洞材料として Nb のバルクとするか銅に Nb を貼りあわせたものにするかどうかなど、現時点で確定できない技術選択肢があり、3 つの場合に分けて建設費を見積った。

#### 3.11.1.3 総費用及び人件費等

2.5 GeV ERL 実験施設の建設費用は 2003 年 2 月段階で概算 723~760 億円であり、5 GeV への増強費用は概算 72 億円と見積られた。建設要員は KEK 職員及び企業等からの建設協力員から成るが、この内 KEK 職員の人件費は建設費用には含まれていない。装置の設計、製作、検査、据え付け、調整等に関わる人件費は全て建設費用の中にも含まれるものとする。この価格は 2003 年 2 月時点のものであり、将来の景気や技術革新等の要因による価格変動は考慮しない。不測の事態による費用増加等に対する予備費は明記しないが個々の費用に含まれるものとする。

#### 3.11.1.4 費用の見積りと内訳

表 3.28 に主要なサブシステムの金額内訳を示す。これは、現在の装置価格等を参考に経験的に判断して、必要な装置毎にざっと概算したものを主要項目別に積算したものである。

## 3.11.1.5 費用見積りメンバー

費用の見積りは、加速器研究施設及び物質構造科学研究所の関連するグループ及び設計会社の協力を得て行われた。

表 3.28: ERL 実験施設建設費用概算 2003.2

項目	金額(千円)	主な装置
(1) 加速器		
入射部 (10 MeV)	1,520,500	加速モジュール 25 台。立体回路、CW クライストロン
主加速器 (2.5 GeV)		
Case 1 (w/o RF-Q, Nb bulk, EBW)	18,382,000	同電源、低電力システム、制御、集束電磁石、真空
Case 2 (with RF-Q, Nb bulk, EBW)	20,424,000	冷凍機、He 輸送ライン
Case 3 (w/o RF-Q, Nb/Cu clad cavity)	16,730,000	
アーク部電磁石及び真空	5,414,480	偏向電磁石、4 極電磁石、6 極電磁石、ステアリング電磁石、電磁石電源
挿入光源	11,080,000	5m 級 12 台、30m 級 4 台、200m 級 1 台
制御及びモニタ	2,080,000	計算機、ネットワーク、タイミング、安全、通信、コンソール、各種モニタ類
小計 Case 1	38,476,980	
Case 2	40,518,980	
Case 3	36,824,980	
(2) 放射光ビームライン	12,000,000	ビームライン光学系、実験装置
(3) 建物及び施設	23,504,000	加速器トンネル (周長 1253 m)、本体建屋 (50,000 m <sup>2</sup> )、電源・機械棟 (9,800 m <sup>2</sup> )、総電力 (35 MW)
合計 Case 1	73,980,980	
Case 2	76,022,980	
Case 3	72,328,980	
(4) 5 GeV 増強費	7,200,000	冷凍機、He 輸送ライン

## 3.11.2 見積りの基礎

以下に見積りに含まれる装置の内容について述べる。見積り費用の中には、それらの装置の設置費用、配線・配管の費用、調整の費用などの人件費も全て含まれるものとする。

## 3.11.2.1 入射器

入射器の主要な装置は、レーザー駆動 RF-DC 電子銃システム、10-MeV 超伝導加速器 (1.3 GHz、9 セル空洞が 1 つの小型クライオスタットに収容される。加速利得 10 MeV/m、バンチャー機能を有する) である。入射器はエネルギー回収がない。エネルギーは小さいが直流なので大電力の CW クライストロン (1.3 GHz、1.2 MW) 及び大電力電源が必要である。ビーム制御・安全システムと 1 MW 級ダンプも必要である。液体ヘリウムは主加速器と同じ冷凍機から He 輸送ラインで供給・回収される。

### 3.11.2.2 主加速器

主加速器は全長約 400 m で、25 台の超伝導加速モジュール（1.3 GHz、9 セル空洞 10 台が一つのクライオモジュールに収容される）から成る。主加速器はビームエネルギーを回収する。従って RF 源は空洞壁での電力損失を補うためのもので、1 モジュール当り最大 200 kW を供給するクライストロン及び電源が必要である。第 1 期計画では加速利得 10 MeV/m で運転し、1 モジュール当りの加速エネルギーは 100 MeV、主加速器全体の加速エネルギーは 2.5 GeV である。このために必要な冷凍機は 4.5°K、12 kW の冷凍能力のもの 1 台である。第 2 期計画では、同じ冷凍機を 3 台追加して冷凍能力を 4 倍に増強し、20 MeV/m、5 GeV の運転を目指す。

加速ビームの集束方法として 4 極電磁石を用いるのか、加速高周波の磁場を利用するのかという選択肢がある。後者の場合、通常の加速空洞の他に RFQ 空洞の導入が必要である。又、加速空洞の製作方法もまた今後の R & D によるところが大きい。空洞材料及び製作方法としては、ニオブ (Nb) 単体の板材をお椀型の 1/2 セルに整形したものを電子ビーム溶接 (Electron Beam Welding) する従来の方法があるが、より安価で量産向きの製造方法として、銅 (3 mm 厚) とニオブ (1 mm 厚) のパイプを各々外側、内側に重ね、内側から 150 気圧の水圧で外側の型に押し当てて整形する方法を開発中である。これらの選択肢によって、建設費用の見積りは

- Case 1 4 極電磁石による集束、Nb bulk cavity・EBW
- Case 2 RFQ による集束、Nb 単体・Nb bulk cavity・EBW
- Case 3 4 極電磁石による集束、Nb/Cu clad cavity

の 3 つの場合に分けて行った。

### 3.11.2.3 アーク部電磁石及び真空

アーク部は 5 GeV のビームを輸送できるものとする。現在のラティス設計では 3 m 長偏向電磁石 18 台、5 m 長偏向電磁石 36 台、4 極電磁石 210 台、6 極電磁石 72 台を要する。ステアリング電磁石 108 組使用する。又、これらの電源は、偏向電磁石電源 2 台、4 極電磁石電源 210 台、6 極電磁石電源 72 台、ステアリング電磁石電源 216 台用いる。

アーク部は約 700 m あり、真空は組立て、配管配線作業も含め m 当りの単価を仮定して概算した。

### 3.11.2.4 挿入光源

挿入光源はアーク部及び主加速器と対向する 300m の直線部に設置される。5 m 級 11 台、30 m 級 4 台、200 m 級 1 台の合計 16 台である。

### 3.11.2.5 制御及びモニタ

制御システムにはネットワーク、サーバ計算機、ローカル計算機、同期システム、安全システム、通信システム、コンソール装置等を含む。ネットワークは GbE 又は 10 GbE の光リンクでノード数は 8 とする。サーバ計算機は UNIX 系の計算機で、計算サーバ 2 台、データベースサーバ 2 台、記録サーバ 2 台、コンソールサーバ 5 台、RAID ディスク装置 2 台から成る。ローカル計算機は装置の 1 グループに付帯して分散設置される VME 計算機で、入射部用に 1 台、主加速器用 10 台、電磁石用 4 台、真空用 4 台、ビームモニタ用 10 台、挿入光源用 16 台、偏向電磁石も含めた

ビームライン用 40 台、安全系 2 台、加速器及び実験専用の通信システム用 2 台、コンソール用 10 台、同期システム用 2 台の合計 101 台から成る。同期システムは加速高周波に同期した信号を生成、分配する装置 1 式、安全システムは加速器への入出管理、放射線安全システム 1 式である。通信システムは建物に付随する電話・放送設備ではなく、加速器や実験に関する情報を提供するための加速器専用の通信システムである。コンソール装置は各種の表示やオペレータからの入力を行うための PC10 台、液晶ディスプレイ 40 台等を含む。制御システムの建設費用には以上のハードウェア及びその設置、調整費用を含む。制御ソフトウェアは EPICS を用い研究所の資産を活用する。又、応用ソフトウェアについても SAD などの資産を活用する。ソフトウェアの整備、開発については研究所のマンパワーを最大限有効に活用する。

### 3.11.2.6 ビームライン

最近の AR の挿入光源ビームラインの価格を参考に見積りを行った。

### 3.11.2.7 施設

建物は加速器トンネル（加速器周長 1253 m）、クライストロンギャラリー、実験フロア、主制御棟、機械室、電源棟等からなるが、全て地上に建設される。

### 3.11.2.8 5 GeV 増強費

増強方法は主加速器の項に述べた。増強費用は 4.5K、12 kW の冷凍機及び貯蔵用の中圧タンク 3 台、He 輸送ラインの拡張 300 m 分等である。

### 3.11.3 建設要員

表 3.29 は、加速器の建設に必要な職員の数であり、装置の据え付けや調整に必要な要員は物件毎の役務契約や業務委託契約によって確保するものとする。これらの契約に必要な経費は建設費用に含まれるものとする。以下の職員が現在の加速器の職員でまかなえるか、あるいは新規の人員増を要求するかは、今後の他の加速器プロジェクトの進展等に依存する。

### 3.11.4 建設スケジュール

図 3.68 に予測される建設スケジュールを示す。建設は 200 MeV の ERL 実証器を建設する PHASE-I（4 年）と 5 GeV の本器を建設する PHASE-II の 2 段階からなる。

榎本収志、神谷幸秀（KEK・加速器）

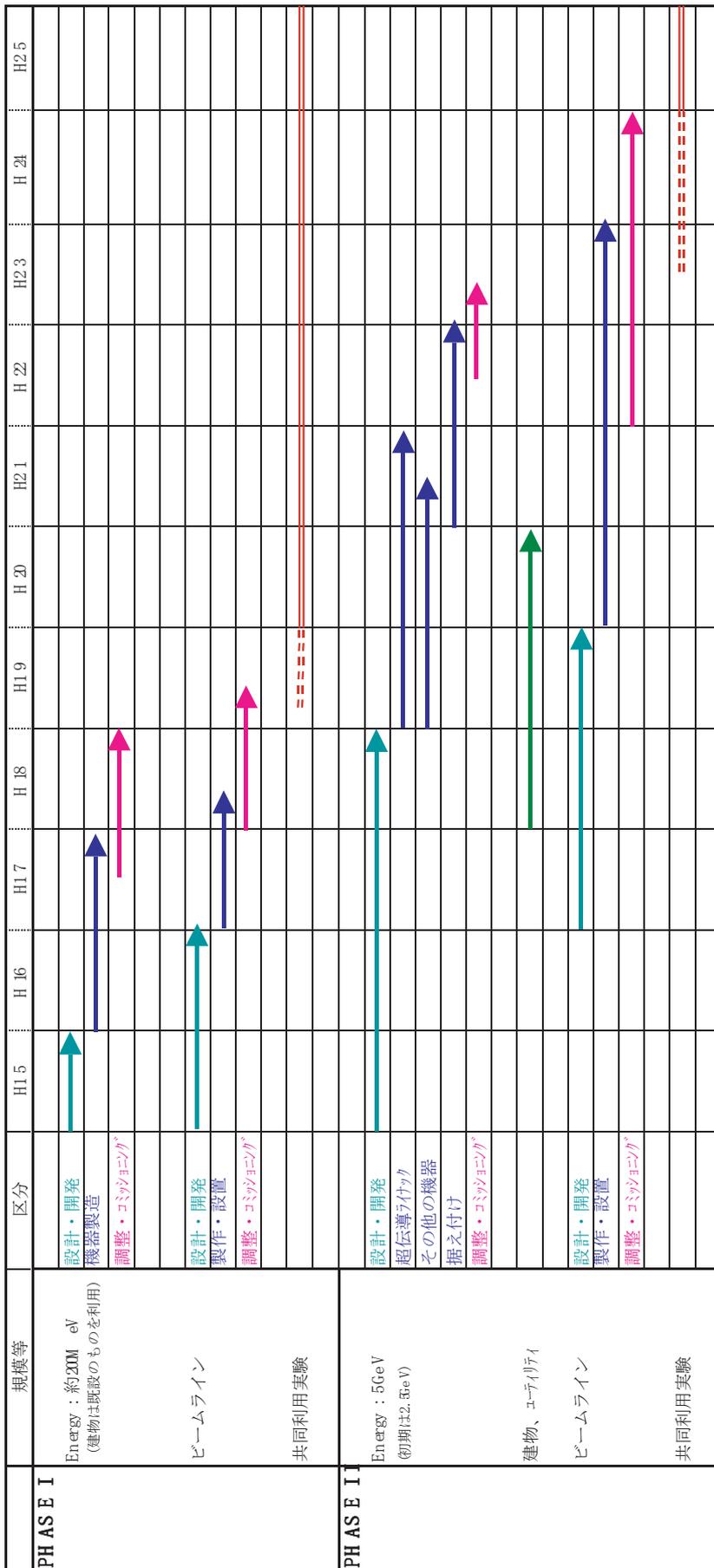


図 3.68: ERL 実験施設建設スケジュール

表 3.29: ERL 実験施設建設要員概算

	人数	備考
入射部		
全体設計	1	入射部全体設計、建物・施設関係
電子銃	1	電子銃、真空、ビームモニター
低電力RFシステム	2	低電力RF、タイミング、フィードバック、レーザー源
大電力RFシステム	1	空洞、導波管、位相器
DC関係電源	1	
<計>	6	
超伝導リニアック		
空洞	6	要求：cavity production(10)、chemistry(7)、vertical test(7)、welding(4)、HOM coupler(2)、input coupler(2)、cavity assembly(4)
冷凍機	5	要求：cryomodule assembly(5)、horizontal test(5)、refrigerator(6)
RF	2	要求：high power(4)
low level	2	要求：low-level control(6)、その他の要求
<計>	15	(magnet、vacuum): 8名 要求計：70名
電磁石	4	
<計>	4	
真空	4	要求：3~5名
<計>	4	
ビームモニター	8	内訳：教官6(100%)、教官1(30-50%)、技官2
<計>	8	
制御		
制御システム	1	要求：core software(1)、機器 software(1)
ネットワーク、データベース	1	要求：計算機、ネットワーク(1)、database(1)
M/P Protection	1	要求：machine protection(1)、personal protection(1)
タイミング	1	
超伝導制御	1	要求：超伝導制御(1)、beam monitor(1)
ソフトウェア、オペレータ・インタフェース	1	要求：operator interface(1)、software 開発(5)
<計>	6	
挿入光源		
チーム#1	3	内訳：教官2+技官1、その他ポストドクとして2名必要
チーム#2	2	内訳：教官1+技官1、その他ポストドクとして2名必要
<計>	5	
加速器関係所要数(職員数)	48	

<備考> 上表には、加速器全体設計(optics, beam dynamics等)の要員は含まれていない。また、ポストドク等の非常勤職員、業務委託等によりマンパワー不足を補うものとする。表の備考で、「要求」とあるのは、各グループからの要求を意味する。