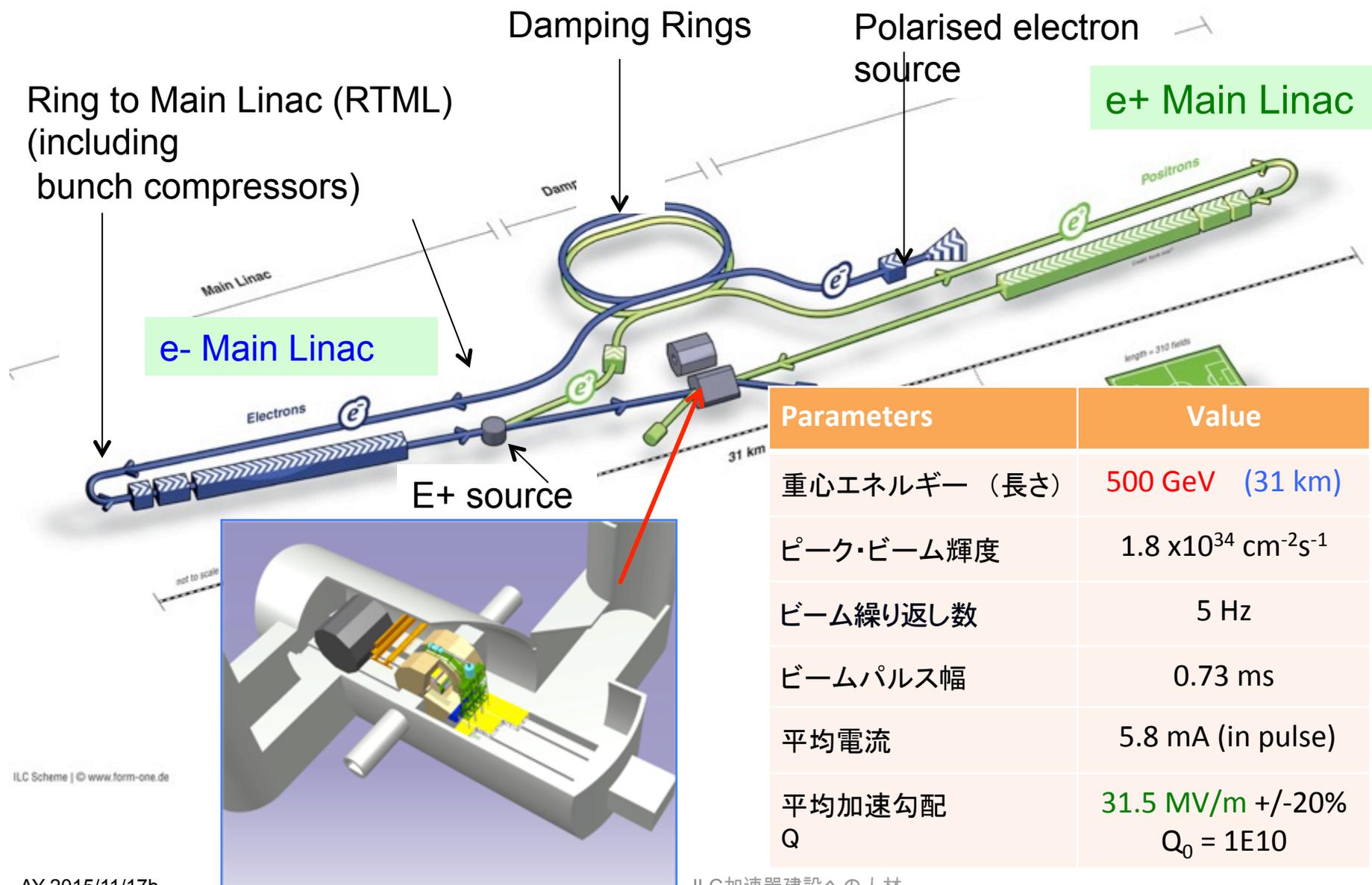


**国際リニアコライダー・技術設計報告書 (TDR)における  
人材確保・育成について**  
**- ILC 加速器実現への技術課題・人材準備 -**

**山本 明 (LCC, KEK)**

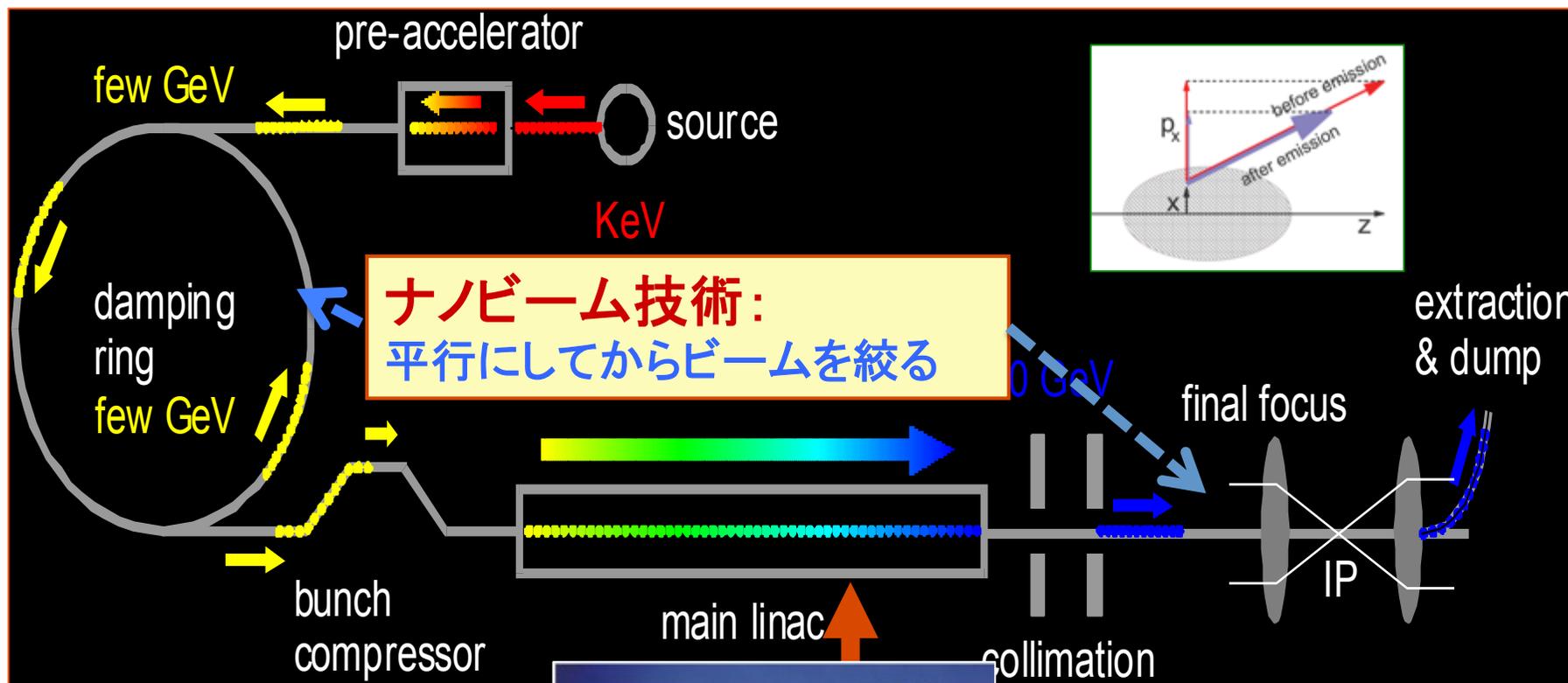
文科省・国際リニアコライダーに関する有識者会議  
人材の確保・育成方策・検証作業部会  
第1回:2015-11-18

# ILC-TDR 加速器の概要



ILC Scheme | © www.form-one.de

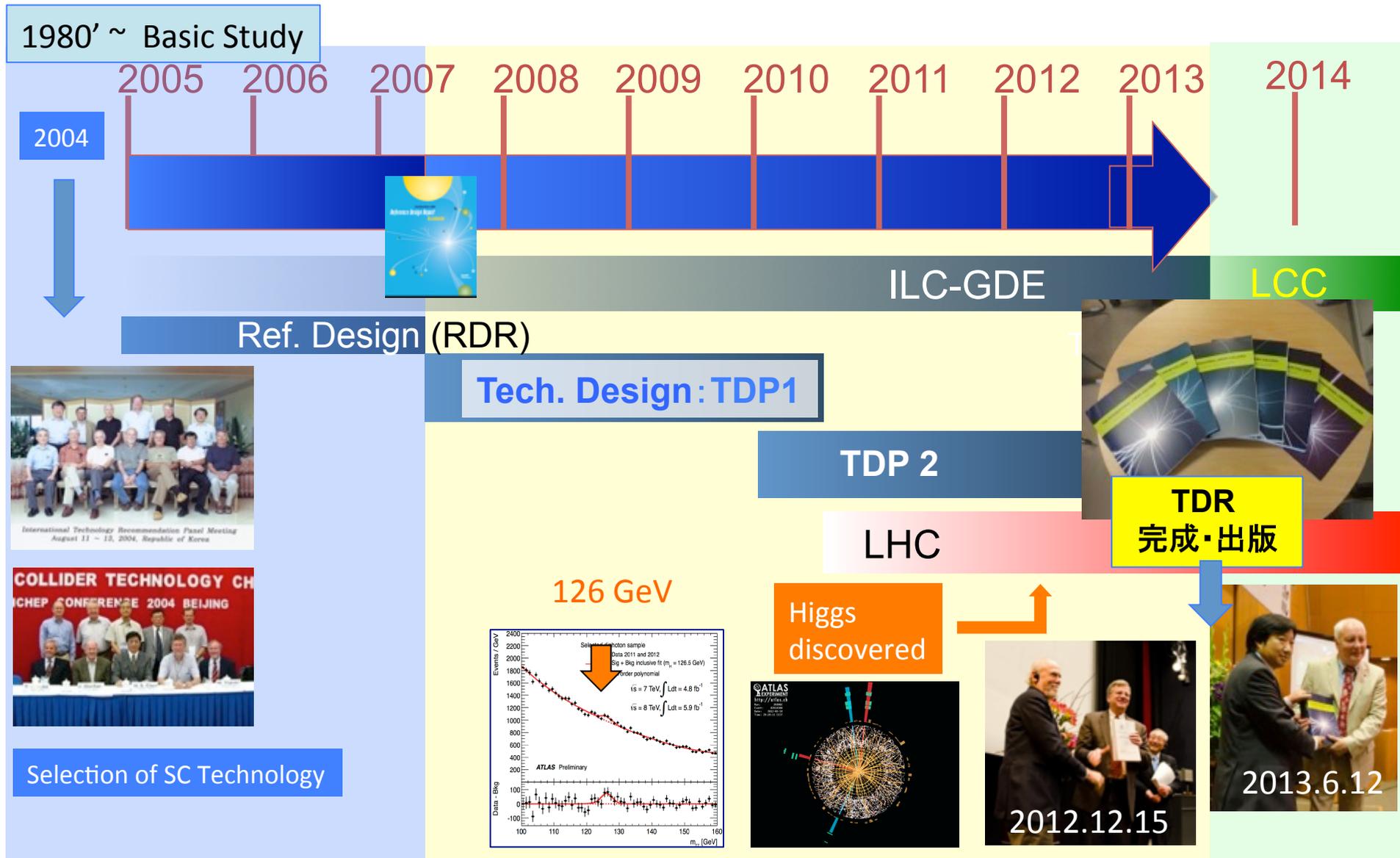
# ILC 加速器の基本構成・技術



- 電子・陽電子源 ( $e^-$ ,  $e^+$ ):
- 減衰リング (DR:ビーム良質化):
- DRからのビーム輸送 (RTML):
- 主線形加速器 (ML): SCRF Technology
- ビーム・最終供給システム (BDS)

**超伝導高周波加速技術:**  
電力を節約し、強力に加速

# ILC 技術設計書(TDR) の完成・出版:2013



# ILC-TDR以降の進捗・報告



1. はじめに
2. GDE 以降の組織・活動
3. 好ましいサイト
4. 地質調査と施設検討
5. 加速器機器の設計と開発の進展
6. 加速器機器の配置と関連するシステム
7. インテグレーションおよび試験設備
8. ハブラボに求められる規模
9. 更なる準備への計画
10. まとめ

MEXT-ILC 有識者会議での議論・提言を反映しつつ、更に設計最適化を図る

# 報告の内容

- ILC加速器建設に必要な人材 (ILC-国際設計チームによる検討)
- ILC加速器実現にむけた準備 (KEK ILC アクションプランWGによる検討)
  - 超伝導加速器技術課題に必要な人材育成
  - ナノビーム技術課題に必要な人材育成
  - 施設技術課題に必要な人材育成

# 報告概要

- ILC 研究所は、加速器建設および運転に、~ 1,000 名規模の人材（研究、技術、管理部門、及び業務委託を含む）を、必要（TDR に記述）。
- 世界各地域の同様の規模を有する素粒子・原子核・加速器研究所が、**国際的に連携し**、適切なバランスで分担・貢献する事を前提。
- **“準備段階”**を、先端加速器技術開発（SRF, nano-beam技術等）での、現有的人材を中心としてスタートし、段階的に増強を図る。“建設段階”に必要な人材（TDR での検討）の **~ 25%に相当するコアメンバーを育成**する（KEK検討案）。他計画からの人材の移行、新規若手の採用・育成を組み合わせ、増強する。
- 加速器建設の為のコアとなる人材を、以下に焦点として、育成を図ることが重要。
  - (1) 超伝導高周波加速技術、(2) ナノビーム技術、(3) 施設設計・準備、および
  - (4) 新国際研究所の創設準備（本検討人材数には含まず。計画判断後の検討課題）。

# ILC 加速器建設における研究所人材構想・全容

## 準備期間 (4年) ~ 建設期間 (9年)

Stage	準備期間				建設期間									積分
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	TDR後、KEKでの検討				TDRでの国際チームによる検討					平均: ~ 1,100/年				
準備	118	161	222	282										
建設					410	922	1208	1350	1589	1480	1374	1106	679	10,117
据付							80	80	80	768	1140	683	522	3,353
合計					410	922	1288	1430	1669	2248	2514	1789	1201	13,470



# ILC 年次計画・必要人員総表 (検討中)

		予備準備期 (現在)	本準備期間 (4年目)	建設期間 (9年間の平均)		運転
		・一般的先端加速器技術予算に基づく。	・準備予算を伴う。 ・サイト候補明確。 ・Pre-ILC Lab.設立。	・本体要素施設建設(9年間のうち5年目がピーク) ・組込据付作業(建設期間9年のうち、主に6~9年目の4年間に実施。7年目がピーク)		
リーダー	必要人員	~14	50	201	42	TBD
	(うちコア人材)	-	-	50		
研究者	必要人員	~ 8	29	117	0	TBD
	(うちコア人材)	-	-	29		
技術者	必要人員	~ 26	92	365	84	TBD
	(うちコア人材)	-	-	92		
作業員, PD	必要人員	~ 31	110	440	713	TBD
	(うちコア人材)	-	-	110		
計	必要人員(平均)	<u>~ 80</u>	<u>282</u>	<u>1,124</u>	<u>838</u>	<u>~ 850</u>
	(うちコア人材)	-	-	282		

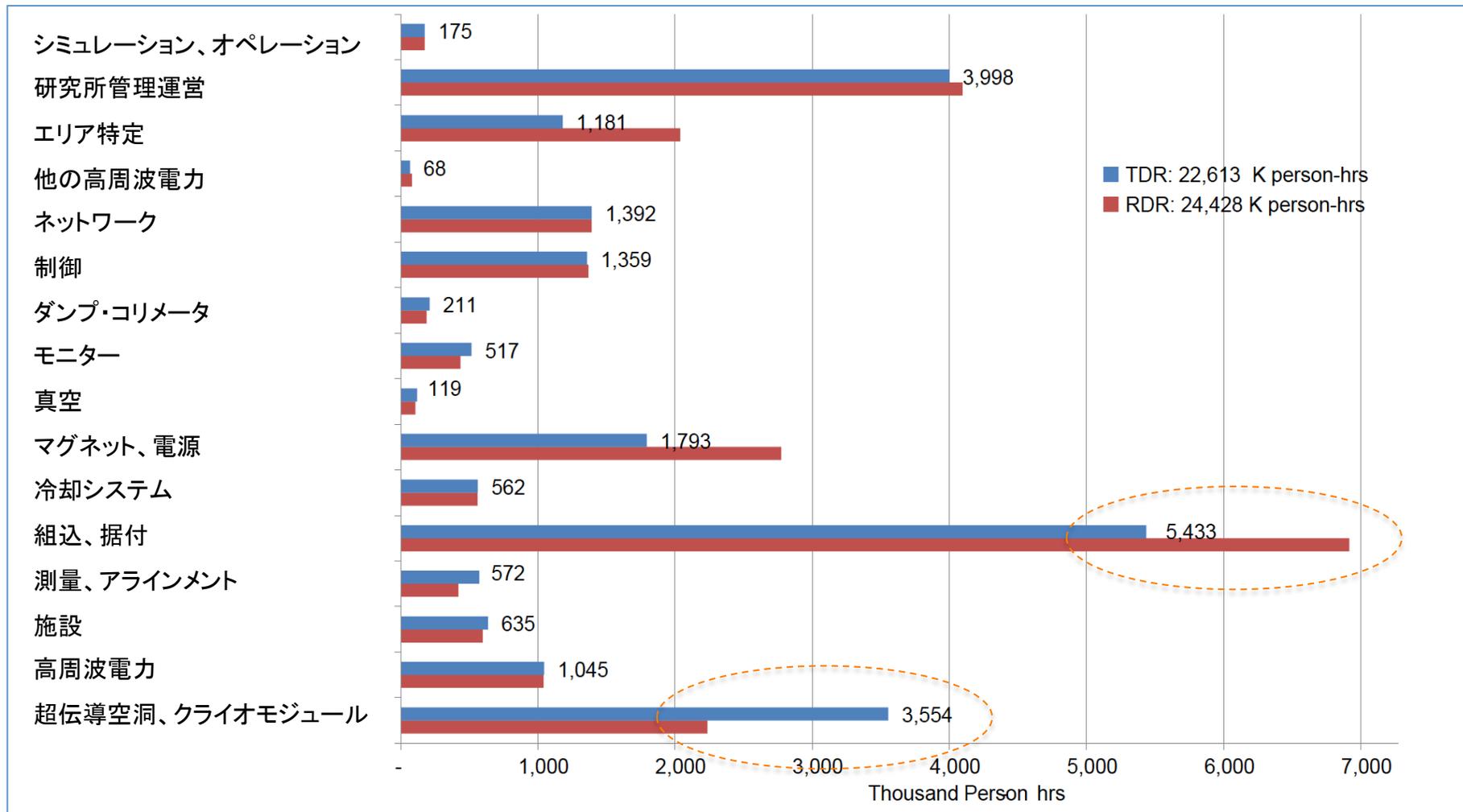
- ・ 建設期間(9年)の必要人員は、当該期間の平均数を記載(本体要素建設は9年間、組込・据付作業は実質的に4年間)。
- ・ 短期的に必要となる組み込み作業の人数を 常勤的な人材数には含めない、
- ・ その結果、本体要素建設に必要な常勤的人数の平均は年1,124人となる。
- ・ 職種比率:「」本体要素・施設建設期間での平均FTE の比率から、「本準備期間」の職種比率を算出((参考:予備資料:p.43))
- ・ 本体要素・施設建設での「コアメンバー」は、本準備期間のメンバー(25%)を書き込んだ。
- ・ 予備準備期間は、現有 76名以上を80名にまらめ、本準備期間と同様に職種での比率を算出

# ILC-TDRに於ける労務量・人材数 見積もり根拠・経緯

- 基本設計書(RDR-2007)における労務量見積りを基本。
  - RDR の時点で、加速器建設(SLAC, Fermilab, CERN, DESY等)の実績を基に、各技術分野別に算出後、積算。
  - 通常加速器技術に関する部分は、RDR での評価を継承。
  - 技術設計書(TDR-2013)段階では、以下について、改訂
    - 組み込み作業:CERN-LHCでの経験を反映
    - SRF技術(性能の評価等: DESY-FLASH, 欧州-XFEL 等での経験を反映)
  - 加速器建設年次計画に合わせ、『加速器要素建設』、『組込・据付作業』に分類し、見積り。
  - 職員職種を、リーダ、研究者、技術者、作業者に分類し、労務量・人材数を見積り。
    - 業務委託などによる人材の補完は、職員労務量・人材数に含む。
    - 管理事務職員は上記に準じて労務量・人材数に含む。
    - 物理実験、測定器は、条件を同一に扱うことが難しく、現在、別途、検討中。
- TDR では、国際連携、全体としての労務量・人材数を算出。
  - 国際的な分担(比率)などは、計画判断後に政府間で調整される課題。

# ILC 加速器建設労務・人材評価の経緯

## RDR -2007→ TDR-2013 (地域平均)



# TDR におけるILC加速器建設に必要な研究所の人材 (FTE)

		積分人・時 K person-hr	積分 FTE p-yr	FTE / 年 Av. In yr	規模 Staff/yr
		<b>22,898</b>	<b>13,470</b>		
1	加速器 (SRF, 9年)	6,520 (28.5%)	3,835	426	} <1,124>
2	加速器 (etc)	5,321 (23.2%)	3,130	347	
3	施設、アラインメント	1,359 (5.9%)	800	89	
4	管理運営	3,998 (17.5%)	2,352	261	
5	組込・据付(4年)	5,700 (24.9%)	3,353	(+838)	

建設期間の平均で、~1,100 人の  
研究所労務・人材が必要。

(5. 組込・据付は4年間の短期であり、常用人数には含まない)

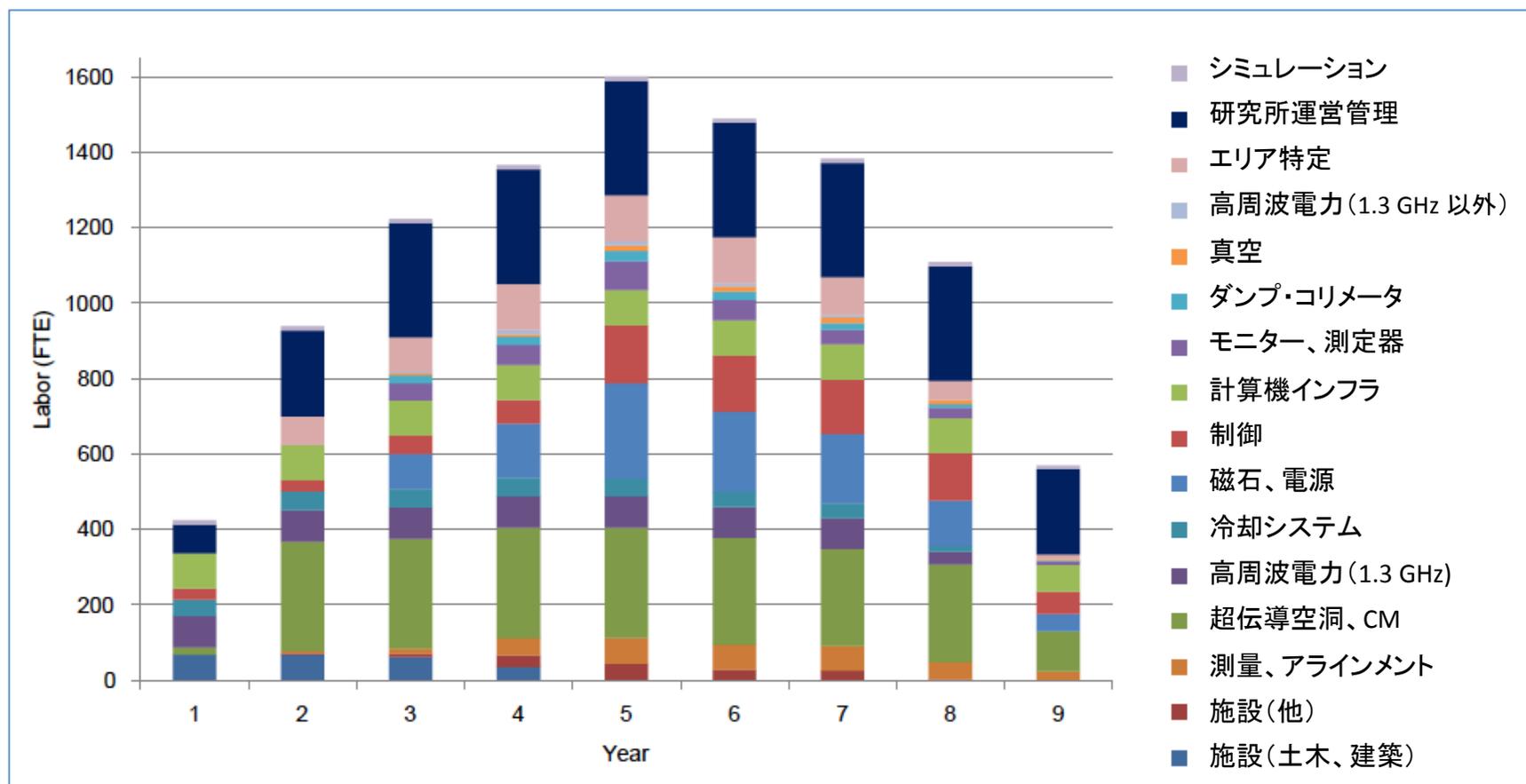
参考：国際的連携をもつ加速器研究所の規模 = 人材源の国際的な基盤：

- CERN: ~ 2500 , DESY: ~2,400, CEA-Saclay: ~4,200, etc.,
- Fermilab: ~1,700, SLAC: ~1,700, BNL: ~3,000, JLab : ~800, etc.,
- KEK: ~750, IHEP: ~1,400、PAL: (TBD), RRCAT: (> 3,000)、etc.,
- ILC は、世界の加速器研究所が、約1/10 の人材を提供すれば実現できるスケール

# ILC加速器建設の為の研究所労務・人材(内訳2)

分野 Item	サブシステム Sub-Item	積分労務 Integ. K p-hr	積分労務 Integ. Person-yr	リーダー Senior	研究者 Sci	技術者 Eng.	作業者 Tech.
CFS (9 yrs)	-Civil E, Build. Utility	<u>1,359</u>	<u>800</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>800</u>	<u>0</u>
Acc (9 yrs)	<u>Sub-total</u>	<u>11,841</u>	<u>6,966</u>	<u>499</u>	<u>760</u>	<u>2,240</u>	<u>3,465</u>
	- Cavity and CM	3,551	2,089	193	114	410	1,372
	- HLRF(1.3GHz)	915	538	79	0	275	184
	- Int-Control-LLRF	1,357	798	48	0	503	247
	- Cryogenics	557	328	21	42	167	98
	- Magnets	387	228	10	0	58	159
	- Power Supplies	1,411	830	0	0	54	776
	- Vacuum	119	70	8	0	20	43
	- Instrumentation	517	304	0	101	101	101
	- Dump-Collimator	211	124	10	0	38	76
	- Computing infra.	1,392	819	61	189	380	189
	- Other-(non-L)-HLRF	68	40	5	0	21	14
	- Simulation & op.	175	103	0	103	0	0
	- Area spec. sys.	1,181	695	64	211	213	206
Manage. (9 yrs)	Administration	<u>3,998</u>	<u>2,352</u>	<u>1313</u>	<u>295</u>	<u>248</u>	<u>497</u>
Installation (4 yrs)	Installation	<u>5,700</u>	<u>3,353</u>	<u>168</u>	<u>0</u>	<u>335</u>	<u>2,850</u>
	Total	<b>22,898</b>	13,471	(1,980)	(1055)	(3623)	(6812)

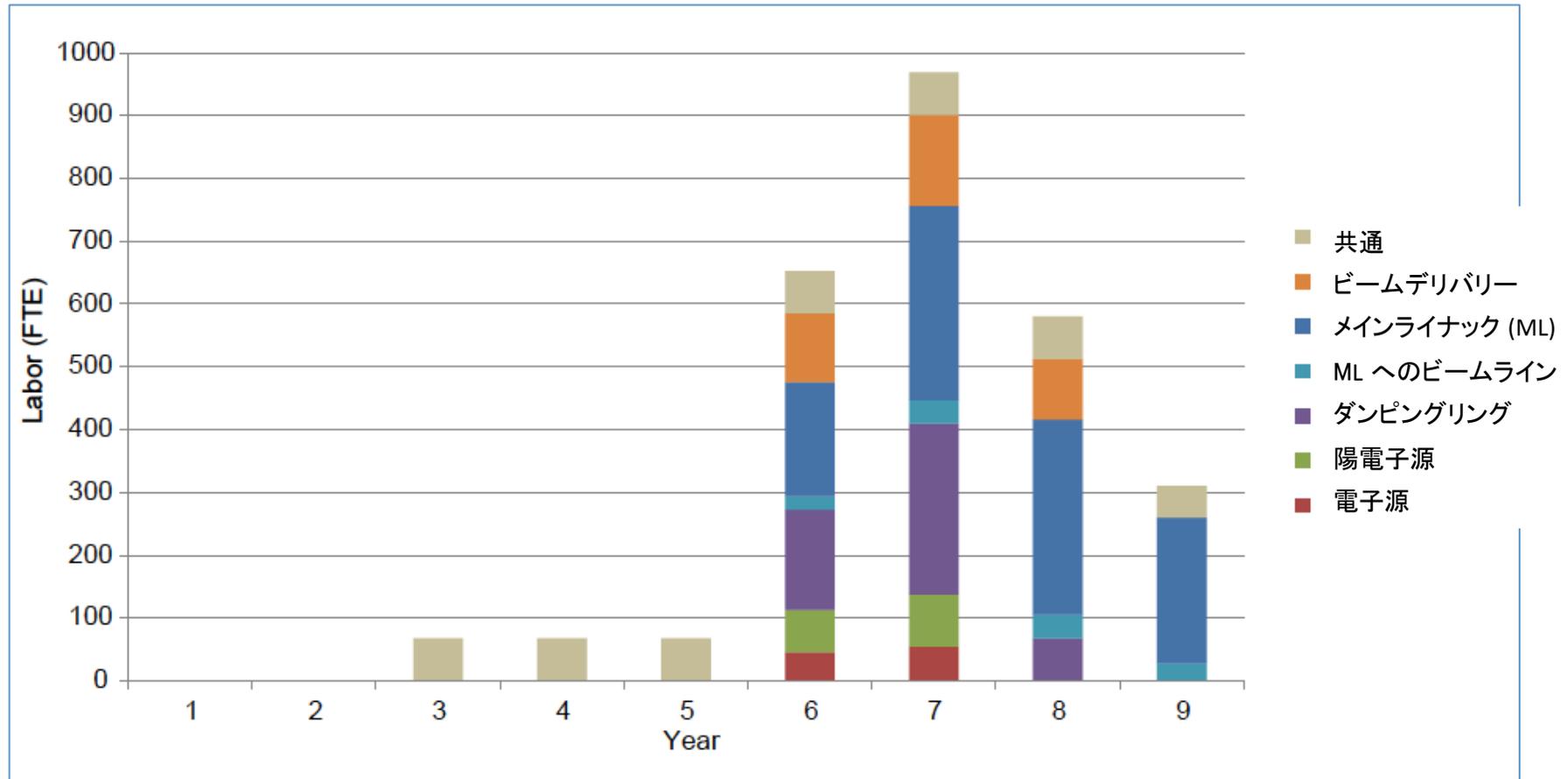
# ILC 加速器建設・労務(研究所)・年次計画



職種による人数比率は、別表 (p16)。より詳細な内訳分類は、予備資料(p43)を参照。

# ILC 加速器組み込み労務・年次計画

(日本の場合、業務委託の比率が高い)

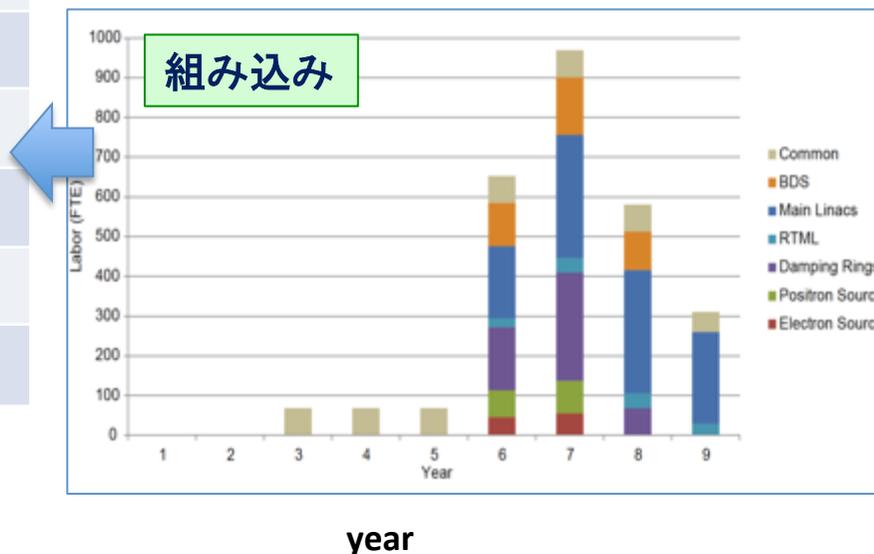
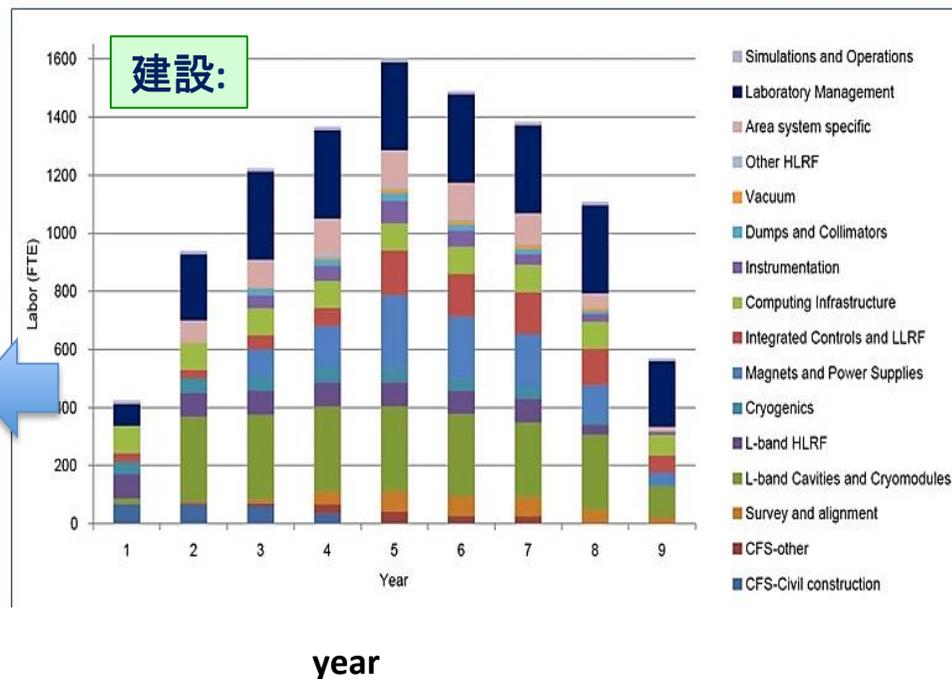


職種による人数比率は、別表 (p16)。より詳細な内訳分類は、予備資料 (p43) を参照。

# 労務量の分類・バランス

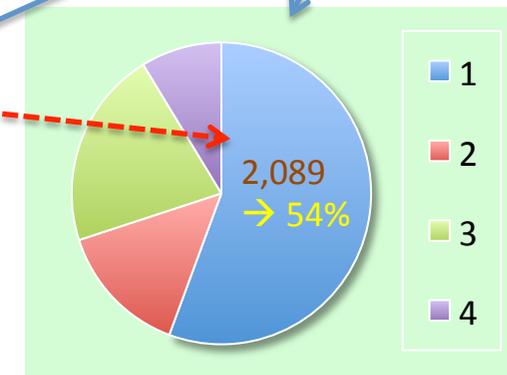
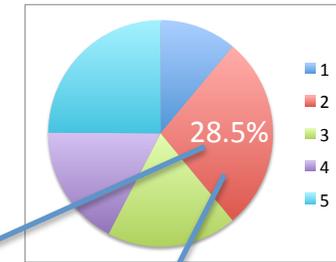
年間労働時間 : 1,700 hours

	積算 労務	平均 年間 労務	職員	業務 委託	付記
<b>加速器建設、機器製造、試験 : (9 yrs)</b>					
運営管理	1,610	179	179	0	
研究、技術	4,344	483	333	150	
技能、労務	3,963	440	117	323	
					(33 % 委託)
<b>組込・据付 : (~4 yrs)</b>					
運営管理	168	42	42	0	
研究、技術	335	84	42	42	
技能、労務	2,850	713	71	642	
					(76 % 委託)



# ILC加速器建設に必要な研究所人材 (内訳)

分野	項目	積分人時 K P-hr	積分人年 p-yr	平均 <FTE/yr>	%
1. 施設	小合計 (9年): - 土木、建築、設備 - 測量、アライメント	1,359 787 572	800 463 337	<89> 51 37	5.9%
2. 加速器、 SRF	小合計 (9年): (1) 空洞、クライオモジュール (2) 高周波電力 (1.3 GHz) (3) 高周波制御 (4) 冷却システム (5) 地域特定機器	6,520 3,551 915 1,357 557 140	3,835 2,089 538 798 328 82	<426> ~232 ~60 ~89 ~36 ~9	28.5%
3. 加速器、 他	小合計 (9年): - 磁石 - 電源 - 真空 - モニター、測定機器 - ビームダンプ、コリメータ - 計算機ネットワーク - 高周波電力 (1.3 GHz以外) - シミュレーション - 地域特定機器	5,321 387 1,411 119 517 211 1,392 68 175 1,041	3,130 228 830 70 304 124 819 40 103 612	<347> ~25 ~92 ~8 ~34 ~14 ~91 ~4 ~11 ~68	23.2 %
4. 管理運営	(9年)	3,998	2,352	<261>	17.5%
5. 組込据付	(4年)	5,700	3,353	<838>	24.9%
	Total	22,898	13,470	<1,123> <838>	ç



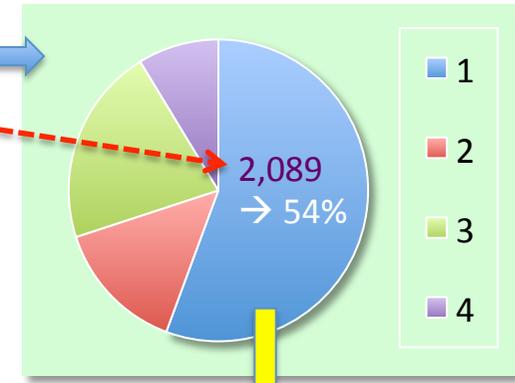
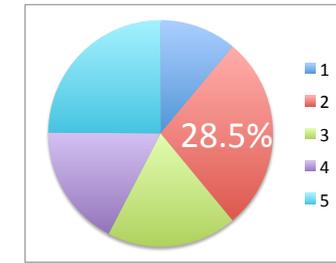
Cavity-CM の労務が  
SRF の56%を占める

Cavity-CM corresponding  
To 565 of SRF

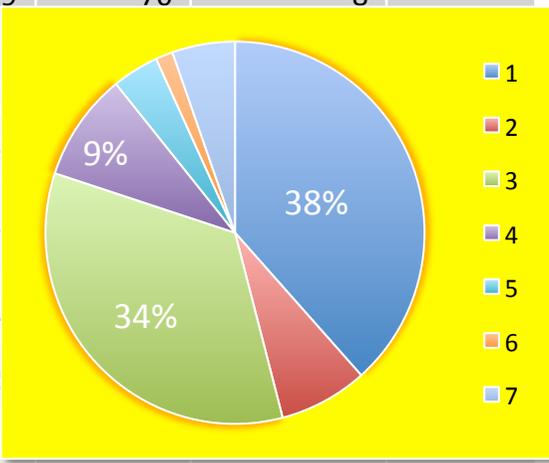
# ILC加速器建設に必要な研究所人材 (内訳)

Rev. 151025

分野	項目	積分人時 K P-hr	積分人年 p-yr	平均 <FTE/yr>	%
1. 施設	小合計 (9年):	1,359	800	<89>	5.9%
	- 土木、建築、設備	787	463	51	
2. 加速器、 SRF	小合計 (9年):	6,520	3,835	<426>	28.5%
	(1) 空洞、クライオモジュール	3,551	2,089	~232	
	(2) 高周波電力 (1.3 GHz)	915	538	~60	
	(3) 高周波制御	1,357	798	~89	
	(4) 冷却システム	557	328	~36	
	(5) 地域特定機器	140	82	~9	
3. 加速器、 他	小合計 (9年):	5,320	2,700	<299>	2%
	- 磁石	38	2	~8	
	- 電源	1,410	70	~8	
	- 真空	119	7	~8	
	- モニター、測定機器	51	3	~8	
	- ビームダンプ、コリメータ	21	1	~8	
	- 計算機ネットワーク	1,390	6	~8	
	- 高周波電力 (1.3 GHz以外)	6	0	~8	
	- シミュレーション	17	1	~8	
	- 地域特定機器	1,040	5	~8	
4. 管理運営	(9年)	3,990	200	<22>	
5. 組込据付	(4年)	5,700	300	<142>	
Total		22,890	12,838	<838>	



評価例:  
空洞表面処理、試験



カプラー・エージング (38%)  
 クライオモジュール技術設計  
 クライオモジュール試験 (34%)  
 空洞試験 (9%)  
 磁石  
 真空  
 クライオモジュール・トンネル  
 内コミッションング

> 80%