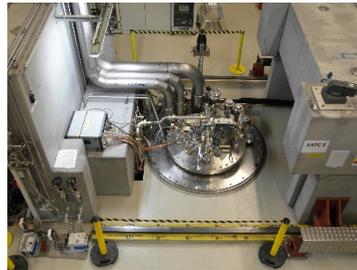
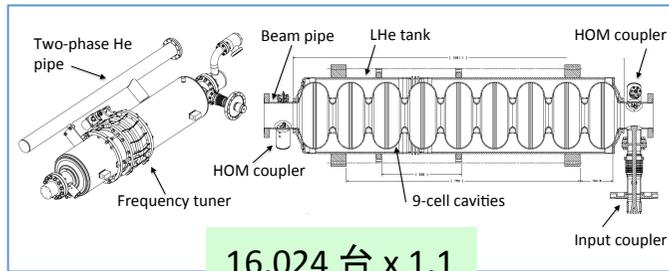


# 空洞・CMの製造および性能試験・プロセス



1,855 台



素材購入

空洞製造 ( 機械的製造 )

表面処理

組み立て

空洞試験, 100 % : 空洞性能評価

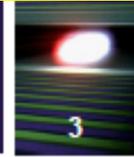
多連空洞組立

クライオモジュール(CM) 組立

CM試験, 33 + 5 % : CM性能評価

# 欧州自由電子レーザー施設（建設中）

## An Accelerator Complex for 17.5 GeV



100 クライオモジュール

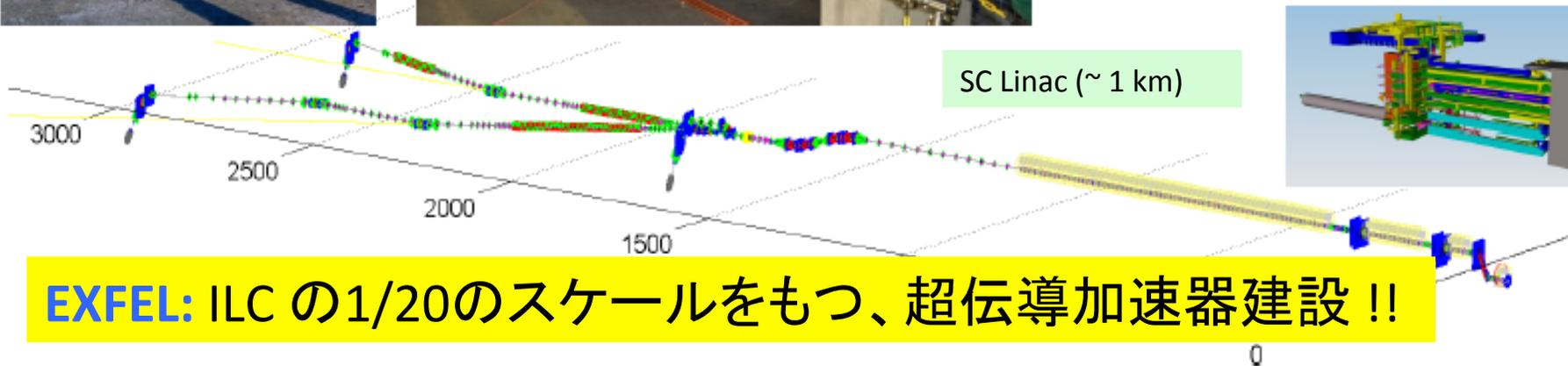


超伝導ライナックエネルギー: 17.5 GeV  
光エネルギー: 0.3 ~ 24 keV

800 超伝導加速空洞  
1.3 GHz / 23.6 MV/m



25 RF stations  
5.2 MW each



# SRFに関する”Hub-Lab” 機能・設備例：E-XFEL

超伝導空洞単体の  
性能試験  
(DESY-AMTF)



入力カップラー単体の  
性能試験  
(LAL-Orsay)



ILCクライオモジュール  
を組み立てる機能  
(Saclay)



ILCクライオモジュール  
の総合試験  
(DESY-AMTF)

AY-2015/11/17b



ILC加速器建設への大冒

# 空洞、クライオモジュールの組立・試験作業： E-XFEL と ILC Hub-Lab の比較

|                        | E-XFEL<br>実際          | ILC<br>予想                      |
|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| ハブ研究所の数                | 1                     | 3                              |
| 製造・試験期間                | 2.5 年                 | 6.5 年                          |
| 空洞・製造数/ハブ              | 800                   | 6600<br>(16,024 x 1.1 / 3) + α |
| クライオモジュール (CM)製造数 / ハブ | 100                   | 618                            |
| CM生産数/ 週               | 0.8 (→1.25, achieved) | 1.9                            |
| 空洞テスト数/ 週              | 6.4 (→ 8)             | 20.3                           |
| CM テスト数/ 週             | 0.8 (→ 1)             | 0.72*<br>*assuming 38% test    |

## EXFEL-SRF 組み立て作業・性能試験・人材数 (実際):

- SRF空洞・CM性能評価(受け入れ)試験作業・人材数: 56 (DESY) + 26 (Poland)
- CM 組み立て作業: 人材数: 12 (CEA-Saclay) + 34 (Sub-contractor)
- カプラーコンディショニング・性能評価・人材数: 6 (LAL)

# Cavity-CM 性能試験に必要な研究所人材数

|                                    | E-XFELでの実例          | ILC への外挿                        | ILC-TDR estimate           |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>Cavity – CM性能試験</b>             |                     |                                 |                            |
| 空洞                                 | 800                 | 16,024 (x 1.1)<br>= 17,626      |                            |
| クライオモジュール<br>(試験率)                 | 100                 | 1,855 (x 0.38)<br>= 704         |                            |
| 人材数 (FTE)x 年数 (yr)                 | 82 x 2.5 = 205 p-yr | 205 x (704/100)<br>= 1,441 p-yr | 2089 x 0.5<br>= 1,045 p-yr |
| <b>Power Input Coupler Process</b> |                     |                                 |                            |
| カップラー                              | 800                 | 16,024                          | XFEL, 自動化を導入<br>L          |
| 人材数 (FTE) x 年数 (yr)                | 6 x 2.5 = 15 p-yr   | 15 x (16,024/800)<br>= 300      | 2089 x 0.38<br>= 794 p-yr  |
| 合計人材数(FTE) x 年数 (yr)               | 220                 | 1,741 p-yrs                     | 1,839 p-yrs                |

SRF 性能検証 における主要な研究所人材必要数  
、EXFEL 経験数からのスケーリング値と整合

# 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((DG指名)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

# ILC加速器準備・重点課題・国際連携

| 分野           | テーマ   | 国際連携   | 人材比率<br>日本:外国 |
|--------------|---|--|---------------|
| 加速器設計        | 詳細設計・パラメータ最適化   | <b>LCC-ILC</b> を中心とした連携  | ~1:2          |
| SRF技術        | 空洞性能への長期的取組<br>量産製造技術・性能検証試験技術、<br>ハブ研究所機能<br>システム性能・安定化(CMでの性能安定化等)<br>(地域間輸送に伴う課題を含む) | <b>TTC</b> : Tesla Technology<br>Collaboration.<br>- <b>KEK-STF</b> , Hub-Lab 機能<br>- <b>EXFEL</b> construction<br>- <b>LCLS</b> construction. | ~2:1          |
| ナノビーム技術      | 極小ビームの実現、安定な運用<br>ビーム制御技術(DR、RTML、BDS、BD など<br>含む)                                      | <b>ATF</b> Collaboration   | ~1:1          |
| 電子源・<br>陽電子源 | 編極電子源<br>アンジュレーター方式による偏極陽電子源<br>電子駆動方式によるバックアップの確保<br>熱分散対策(非常時の安全対策)                   | 日米が相補的に協力  | ~1:1          |
| ビームダンプ       | 安全設計  | SLC, EXFEL, KEK等 の経験   | 日本中心          |
| 施設           | モデル(候補地)を仮定した基本計画、<br>詳細設計、技術設計図面整備、環境調査・整備   | JP-CFSがコア、候補地域連携   | 日本中心          |
| 共通技術         | 各種安全(放射線、高圧ガス、ほか)<br>コミュニケーション・ネットワーク   | 国際安全基準の調整<br>ネットワーク国際調整  | 日本中心          |
| 事務・管理        | ILC準備活動事務・管理、国際協力、広報→<br>新国際研究所の設立準備 (ILC pre-lab) →                                    | 参加各機関で分担、協力<br>今後の国際調整による。   | 日本中心          |

# ILC 加速器準備期間・技術課題

|                 | 予備準備期間                           | 本準備期間   |    |    |    | 人材数<br>(P4年度)<br>日:外 |
|-----------------|----------------------------------|---|----|----|----|----------------------|
|                 |                                  | P1  | P2 | P3 | P4 |                      |
|                 | 現在                               |   |    |    |    |                      |
| 加速器設計           | 加速器詳細パラメータの固定                    | システム・シミュレーション、諸元の確認                                 |    |    |    | 8+16                 |
| 超伝導RF           | Full-SRF-CM によるビーム加速の達成          | 工業化・量産技術システム実証、性能の安定化<br>ハブラボ機能実証、国際分担プロセスの確立       |    |    |    | 74+32                |
| ナノビーム           | 目標ナノビーム達成                        | ナノビームサイズ、安定性の実証                                     |    |    |    | 21+21                |
| e-, e+ 源        | 編極電子源<br>陽電子源要素技術実証              | アンジュレーター及び電子駆動・陽電子源の実証                              |    |    |    | 6+6                  |
| B-Dump,<br>一般技術 | 概念設計・安全検討                        | 安全・技術実証   |    |    |    | 12+12                |
| 施設              | 予備調査、基本計画                        | 地質地形環境調査、技術設計、仕様書・図面整備                              |    |    |    | 17+5                 |
| 共通支援            | 共通技術支援・安全指針策定                    | 共通・研究支援(ネットワーク、放射線安全等)                              |    |    |    | 14+7                 |
| 管理運営            | 計画推進(技術開発・設計)、ILC<br>推進準備室(対外対応) | 予算執行・事務管理、国際協力、広報活動<br>(ILC pre-lab→国際研究所:この検討に含まず) |    |    |    | 18+10                |

# 人材準備への基本的な考え方 (1/3)

- 準備期間を2段階とする:
  - a) 一般的な先端加速器・技術開発の範囲で推進される**予備準備期間(現在)**、
  - b) ILC 準備・特定予算に基づき推進される**本準備期間 (4年)**
- 政府による判断が示された時点で、(a) から(b)に移行。
- KEKでは、ILC 推進準備室が強化される。 加速器、物理、共通、施設(土木・建築・設備)、事務管理運営を統括する準備体制が整備強化され、**Pre-ILC labに移行**。
- 日本国内: 中核となる専任メンバーと併任メンバーが協力し、準備を推進。
  - 科学者(研究者)、技術者、作業者の比率は、大凡 1: 1: 1~2。 分野により適正比率を調整。
- 外国からの貢献: 専任、併任、協力者として、KEKをベースとして活動するメンバーおよび参加各国(地元)での研究機関をベースとした参画を数値に含む。
- **外国からの貢献比率**を、(全体必要人員数に対し) 20 - 40 % へと段階的に高める。
- 本建設では外国からの貢献が 50%またはそれ以上を想定。

# 人材準備への基本的な考え方 (2/3)

- 加速器建設準備では、**外国の貢献比率**を以下の様に調整する。
  - **加速器設計(ADI)** : 国際的に平等な分担
  - **超伝導高周波(SRF)ビーム加速**:
    - 20 - 40 % の範囲で、段階的に増強
    - **欧州**ではILCの~1/20の規模を有する**欧州XFEL計画**、米国では、さらにその~1/3の規模を有する**LCLS-II**計画が進捗し、コンソーシアムを形成する各研究機関で、**50~100人規模のスタッフおよび派遣技術者**がシステムの組み立て、性能評価試験(品質管理)に取り組んでいる。ILCに求められるシステム技術開発、習熟が進展し、その段階で潜在的な**人材が養成されている**。
    - **日本**では、このようなシステム技術開発(**工業化、中核ラボ機能実証**)に、多くの**人材養成が必要**。
    - 建設期間には、世界三領域での分担比率が均衡する事を目標とした準備が必要。
  - **ナノビーム**:
    - 中核施設としてのATFでの現状を踏まえ、**日本・外国比率を均衡**。

# 人材準備への基本的な考え方 (3/3)

- **施設**: 日本が中心(アウトソーシング活用)、外国から専門家の協力。
- **共通技術支援**: 日本が中心、外国からの専門家の協力。
- **事務管理**(庶務、会計、国際協力、広報など): 全体人材構成の10%をモデル。
  - 但し、ILC pre-laboratory、ILC Laboratoryの設立準備(作業)を現段階では含めていない。今後、その構想段階で、改めて取り組まれるべき課題。

# ILC加速器・準備期間に必要な人材案 (FTE) <sup>1)</sup>

|              | 2)          | 本準備期間 <sup>3)</sup> |            |            |            | 建設期間 <sup>4)</sup> |              | 付記   |
|--------------|-------------|---------------------|------------|------------|------------|--------------------|--------------|--|
|              | 現在          | P1                  | P2         | P3         | P4         | C1                 | C2           |  |
| 加速器:日<br>:外  | 42<br>≥ 20  | 54<br>28            | 74<br>41   | 98<br>65   | 122<br>89  | (172)              | (530)        | 日: 特にSRF量産化技術実証・習熟要 <sup>5)</sup><br>欧米: 量産化技術は経験済み潜在力 <sup>6)</sup> |
| 施設: 日<br>: 外 | 3<br>1      | 11<br>3             | 11<br>5    | 13<br>5    | 17<br>5    | (52)               | (53)         | 日: 中心的に推進。アウトソーシング活用<br>外国: 専門的協力                                    |
| 共通: 日<br>: 外 | 2<br>1      | 7<br>3              | 10<br>4    | 13<br>6    | 14<br>7    | (109)              | (109)        | 日: 中心的に推進。欧米: 専門的協力<br>(建設期における迅速な技術支援増強要) <sup>7)</sup>             |
| 運営: 日<br>: 外 | 5<br>3      | 8<br>4              | 10<br>6    | 14<br>8    | 18<br>10   | (77)               | (230)        | 日: 中心的に推進<br>ILC pre-lab準備の為、国際的検討増強要 <sup>8)</sup>                  |
| <b>Sum</b>   | <b>≥ 76</b> | <b>118</b>          | <b>161</b> | <b>222</b> | <b>282</b> | <b>(410)</b>       | <b>(922)</b> |  |

## 補足説明:

- 1) ILC準備期間における外国からの人材貢献比率を20～40%レベルで段階的増強する。そのうえで、政府間協議・合意に基づく本計画・建設での、更なる外国からの貢献増強に備える。(FTE: Full Time Equivalent per year)。
- 2) 予備期間: 現在の取り組み状況(特定の建設を指定しない、一般的先端加速器技術開発での取り組み人数)。
- 3) 本準備期間: ILC 建設準備の為に予算を伴う本準備期間。他の加速器建設で、すでに培われた潜在的人材数は含まず。
- 4) 建設期間: TDR に記述されている労務数をFTE で表した人材数。(共通技術から加速器に、実質的に建設貢献。)
- 5) 日本において、超伝導加速空洞量産(工業化)技術およびハブラボ機能(プロジェクト統括、品質管理・性能評価)の実証のために人材養成を必要とする。
- 6) 欧米は、ILC本準備期間までに、独自の計画のもち、すでに技術・機能検証が実施されており、新たな人材養成数としては、ここに計上されない。(E-XFEL 計画を通して、DESY, CEA-Saclay など、それぞれ、50～100人の経験を積んだ人材が存在。(補足資料: XFEL における人材・AnnualReport 2014 参照) LCLS 計画を通して、Fermilab, Jlab, SLAC など、同様な動きとなる。
- 7) 共通技術支援: 本準備期間から建設期での迅速な技術支援増強については、今後の検討課題。
- 8) ILC国際研究所の設立準備にむけた、専門的な人材は、今後の検討課題。

# 準備期間の人材の内訳(加速器)

| 分野         | 項目                |    | P1           | P2           | P3           | P4            | 積分FTE         |
|------------|-------------------|----|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 全体・計       | 合計                |    | <b>118</b>   | <b>161</b>   | <b>222</b>   | <b>282</b>    | <b>783</b>    |
|            | =日本<br>+外国        |    | = 80<br>+38  | = 105<br>+56 | = 138<br>+84 | = 171<br>+111 | = 494<br>+289 |
| 加速器計       | 合計                |    | <b>82</b>    | <b>115</b>   | <b>163</b>   | <b>211</b>    | <b>571</b>    |
|            | =日<br>+外          |    | = 54<br>+ 28 | = 74<br>+41  | = 98<br>+65  | = 122<br>+89  | = 348<br>+223 |
| 加速器<br>FTE | 統括                | 日本 | 1            | 1            | 1            | 1             | 4             |
|            |                   | 外国 | 2            | 2            | 2            | 2             | 8             |
|            | 加速器設計             | 日本 | 3            | 4            | 6            | 8             | 21            |
|            |                   | 外国 | 6            | 8            | 12           | 16            | 42            |
|            | 超伝導RF<br>(ML)     | 日本 | 38           | 50           | 62           | 74            | 224           |
|            |                   | 外国 | 8            | 12           | 22           | 32            | 74            |
|            | ナノビーム<br>(DR,BDS) | 日本 | 6            | 9            | 15           | 21            | 51            |
|            |                   | 外国 | 6            | 9            | 15           | 21            | 51            |
|            | e-e+源             | 日本 | 3            | 4            | 5            | 6             | 18            |
|            |                   | 外国 | 3            | 4            | 5            | 6             | 18            |
| 一般技術等      | 日本                | 3  | 6            | 9            | 12           | 30            |               |
|            | 外国                | 3  | 6            | 9            | 12           | 30            |               |

# 準備期間の人材の内訳(施設)

| 分野          | 項目    |    | P1   | P2   | P3   | P4   | 積分FTE |
|-------------|-------|----|------|------|------|------|-------|
| 合計<br>(FTE) |       | 合計 | 14   | 16   | 18   | 22   | 70    |
|             |       | =日 | = 11 | = 11 | = 13 | = 17 | = 52  |
|             |       | +外 | +3   | +5   | +5   | +5   | +18   |
| 内訳<br>(FTE) | 統括    | 日本 | 1    | 1    | 1    | 1    | 4     |
|             |       | 外国 | 1    | 1    | 1    | 1    | 4     |
|             | 土木    | 日本 | 2    | 2    | 3    | 4    | 11    |
|             |       | 外国 | 1    | 1    | 1    | 1    | 4     |
|             | 建築    | 日本 | 2    | 2    | 3    | 4    | 11    |
|             |       | 外国 | 1    | 1    | 1    | 1    | 4     |
|             | 設備・電気 | 日本 | 2    | 2    | 2    | 3    | 9     |
|             |       | 外国 | 0    | 1    | 1    | 1    | 3     |
|             | 設備・機械 | 日本 | 2    | 2    | 2    | 3    | 9     |
|             |       | 外国 | 0    | 1    | 1    | 1    | 3     |
|             | 環境    | 日本 | 2    | 2    | 2    | 2    | 8     |
|             |       | 外国 | -    | -    | -    | -    | -     |

# 準備期間の人材の内訳(共通技術支援)

| 分野          | 項目    |    | P1  | P2   | P3   | P4   | 積分FTE |
|-------------|-------|----|-----|------|------|------|-------|
| 合計<br>(FTE) |       | 合計 | 10  | 14   | 19   | 21   | 64    |
|             |       | =日 | = 7 | = 10 | = 13 | = 14 | = 44  |
|             |       | +外 | +3  | +4   | +6   | +7   | +20   |
| 内訳<br>(FTE) | 統括    | 日本 | 1   | 1    | 1    | 1    | 4     |
|             |       | 外国 | -   | -    | -    | -    | -     |
|             | EDMS* | 日本 | 1   | 2    | 3    | 3    | 9     |
|             |       | 外国 | 1   | 1    | 2    | 2    | 6     |
|             | 計算機網  | 日本 | 2   | 3    | 4    | 4    | 13    |
|             |       | 外国 | 1   | 2    | 2    | 3    | 8     |
|             | 放射線安全 | 日本 | 1   | 2    | 3    | 4    | 10    |
|             |       | 外国 | 1   | 1    | 2    | 2    | 6     |
|             | 一般技術  | 日本 | 2   | 2    | 2    | 2    | 8     |
|             |       | 外国 | -   | -    | -    | -    | -     |
|             |       |    |     |      |      |      |       |

\* Engineering Data Management System

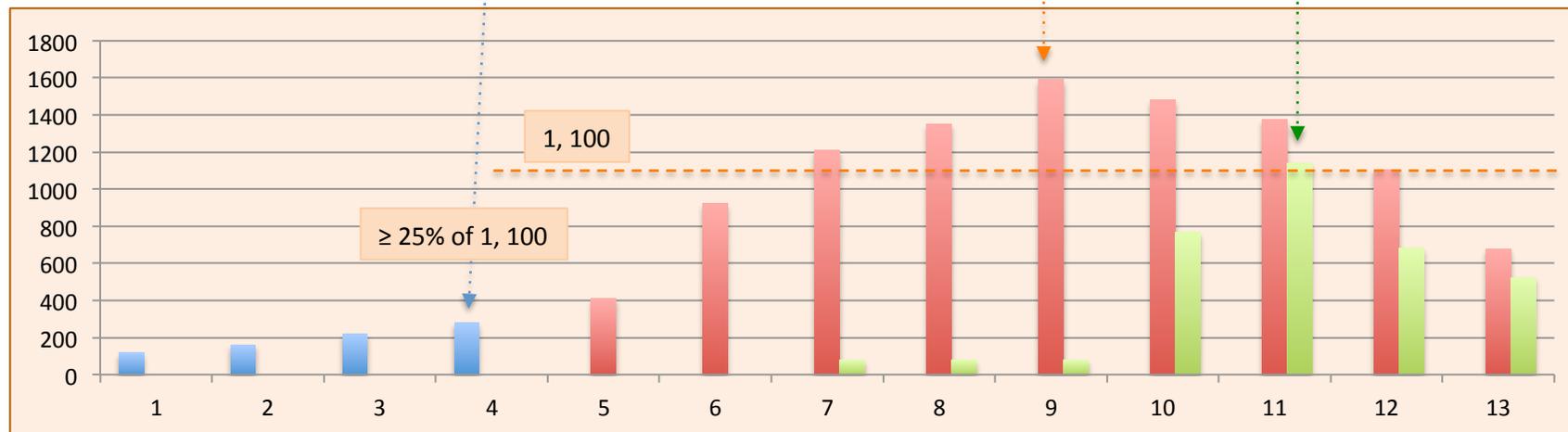
# 準備期間の人材の内訳(管理事務)

| 分野          | 項目          |    | P1  | P2   | P3  | P4  | 積分FTE |
|-------------|-------------|----|-----|------|-----|-----|-------|
| 合計<br>(FTE) |             | 合計 | 12  | 16   | 22  | 28  | 78    |
|             |             | =日 | = 8 | = 10 | =14 | =18 | = 50  |
|             |             | +外 | +4  | +6   | +8  | +10 | +28   |
| 内訳<br>(FTE) | 統括          | 日本 | 1   | 1    | 1   | 1   | 4     |
|             |             | 外国 | -   | -    | -   | -   | -     |
|             | 総務          | 日本 | 2   | 3    | 4   | 5   | 14    |
|             |             | 外国 | 1   | 2    | 3   | 3   | 9     |
|             | 会計          | 日本 | 3   | 3    | 5   | 6   | 17    |
|             |             | 外国 | 2   | 2    | 3   | 4   | 11    |
|             | 国際協力<br>広報等 | 日本 | 2   | 3    | 4   | 6   | 15    |
|             |             | 外国 | 1   | 2    | 2   | 3   | 8     |
|             |             |    |     |      |     |     |       |
|             |             |    |     |      |     |     |       |

# ILC 加速器建設における研究所人材構想・全容 (再び)

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 |



# まとめ

- 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、管理部門職員、及び業務委託を含む）を、必要とする（TDR に記述）。
- 世界各地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、適切なバランスで貢献する事を前提とする。
- **”準備段階”**を、先端加速器技術開発（SRF, nano-beam 技術等）における現有の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”**に必要となる**平均的人材**（TDR で見通し）の **~25% に相当するコアメンバー**（リーダー、研究者、技術者、作業員、事務職のコア）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、増強を図る。
- 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**（但し、本検討での人数には含まず。計画判断後の課題。）。