

人材の確保・育成方策の検証に関する報告

人材の確保・育成方策検証作業部会は、国際リニアコライダー（ILC）計画の建設及び運転等に必要となる人材の確保・育成方策について検証し、同計画における課題を具体的に検証するためこれまでの大型加速器等に係る人材確保や国内外の状況等について、平成27年11月以降、6回に渡り議論を行った。これらの議論の結果について、主要事項を以下に示す。

1. 人材の確保・育成方策検証作業部会で聴取した ILC 計画の人材確保・育成に関する概要

○ 国際リニアコライダー（ILC）計画の技術設計報告書（Technical Design Report、以下「TDR」という。）における加速器建設にかかる人材構想について、概要は以下のとおり。

- ・建設期間9年間に必要となる人材数 年平均として、建設関係~~8304~~1124人、据付関係~~378479~~人（※）が必要（詳細については別紙を参照）。

※ 3～9年次の7年間の平均

- ・建設関係は、主に ILC 計画の推進主体が直接雇用（直接の業務委託を含む）し、加速器及び加速要素設計、製造監督、納入された要素の性能評価、加速器全体の組立て・調整など、研究所が直接責任を負う業務のための人材を指す。据付関係は、主に加速器の構成機器を地上から地下トンネルに搬入・据付するための通常の役務作業のための人材を指す。
- ・TDRでは、世界各地域の相当の規模を有する素粒子・原子核研究所が国際的に連携し、適切なバランスで分担・貢献することを前提としている。
- ・TDR後の検討（※）では、建設開始前の準備期間を4年と設定し、その間に282人（建設期間に必要となる年平均約~~8304~~100人の約~~3425~~%）を建設段階のコアメンバーとなる人材として育成することを想定している。

※ 高エネルギー加速器研究機構が中心となり検討した「KEK-ILC アクションプラン」

（平成28年1月、平成30年1月補遺追加）

2. 大型加速器プロジェクトを巡る人材確保・育成の状況

(1) 国内の状況

① 大学、研究所等

- 我が国では、これまで大型の加速器プロジェクトの建設・運営に際して必要となる人材については、職場内訓練（On the Job Training、以下「OJT」という。）によって育成されてきた経緯がある。

- 具体的には、1970年代のKEK-PS、1980年代のTRISTANなどによって、構想、設計、製造、組立て、建設、運転調整、これらに係る関係機関・関係企業との連携、それら全体をシステムとして理解し監督する人材等が育成され、その後の大型加速器プロジェクトが開始される際も経験を活かし、分野の進展を支えてきた。
- しかしながら、近年は、研究の進展に伴い計画が長期・大規模化してきているため、若手の人材が大型加速器を建設するプロジェクトに参加する機会が減少しており、OJTによる育成の機会が少なくなっている。
- また、既存施設の運用や改修、要素技術開発だけでは、大規模システムである加速器に係る全体的なマネジメントという点で研鑽を十分に積むことができず、今後、徐々に全体を俯瞰して加速器をシステムとして扱うことのできる人材が枯渇していくことも懸念される。
- さらに、大学等においては、加速器を専門とする研究室が減少してきている。素粒子・原子核実験など関連する他の分野の人材をリクルートして加速器の専門家に育て上げるというキャリアパスはあるが、加速器研究者と類似の技術分野の研究者との人事交流は余り盛んではないという状況にある。

② 企業等

- 加速器の製造には広範な要素技術が必要であり、電磁場解析、高周波技術、構造・強度解析、断熱設計、精密機械加工、表面処理技術、高 cleanliness 溶接、精密据付けなど、これだけの要素技術が要求される製品は他に余りなく、一通り経験させることで企業にとっては人材育成の良い機会となる。
- 加速器に関する製品の特質は、製品（ハードウェア）自体が研究対象になっていることであり、企業の担当者が研究者と綿密なコミュニケーションを取ることで計画通りの製品を実現できる。このような担当者を育成するためには、プロトタイプ段階から開発や試験を研究者と一緒に経験させることが重要である。
- ILC計画のような大規模なプロジェクトに対応するためには、十分な準備期間と具体的な見通しのもとに、計画的に人材を育成していく必要がある。

- 企業において、加速器に中心的に携わる人材を確保・育成するためには、具体的にいつ頃からどのような作業が開始されるかといったプロジェクトの見通しが明確になることが重要であり、企業はそれに対応して人材の確保やプロジェクト終了後の人材活用等の計画を立てる。
- 企業では、加速器だけを専門とする人材は非常に限られており、加速器プロジェクト工事の繁忙に対応して、社内の類似技術分野の部門との間で人員を融通している。
- 現在は、国内で大型加速器プロジェクトの将来的な計画が見えないため、海外の複数の加速器プロジェクトに参入することにより、国際対応力の強化と人材・技術の維持を図っている。また、人材の新規採用については、技術の伝承において断絶を起こさないように、できるだけ継続的に採用するようにしている。
- なお、加速器の場合、一般の機械製品と比較すると特殊な材料、部品が多いが、プロジェクトが進むにつれて、作業の効率化、品質管理等の工夫を行うことで量産効果を出すことができる。このため、量産が軌道に乗ると設計作業には大人数を必要としないが、一方で、想定外の品質、費用、工程上の問題が発生した場合に原因究明や対応策の立案を行うための相当数のエンジニアは必要である。

(2) 海外の状況

- 海外においてもOJTにより人材が育成されるが、我が国に比べると人材の流動性が高く、官民あるいは研究分野の壁を越え、人材が循環している。
- これにより、欧米においては現状必要な人材は育成・確保できているが、これから新たに国際協力で大型計画が開始される場合は、人材を確保するための見通しが必要である。
- 欧州合同原子核研究機関（European Organization for Nuclear Research、以下「CERN」という。）の正職員には任期付き（5年任期）と任期なしの2種類があり、任期付き職員の内の50%以下が任期なしのコアスタッフとなり昇任していく仕組みになっている。また、大型ハドロン衝突型加速器（以下「LHC」という。）の建設の際は、CERNの研究者・技術者だけでなく外部の参加機関からも貢献してもらうスキームとしてプロジェクト・アソシエイトというシステムを導入した。
- 外部の参加機関からの出向スタッフは、事前の契約により自身の役割が終了した段階で所属機関に戻る事となる。その合意の上でCERNに出向しており、CERNではその

後の雇用等に責任はない。さらに、任期付き職員の多くは、幅広い分野から集められた技術者、応用科学者であり、高いブランド力を持つCERNでのプロジェクトに従事した後は、他の国際機関やプロジェクト等に参加が求められるなどニーズも高く、特に問題も生じていない。

(3) ILCとの関係

- ILC計画のような大規模な国際協力プロジェクトを実施するに当たっては、相当量の人材を国内外から結集させる必要がある。このため、海外から組織的に研究者が参加するシステムの整備が不可欠となる。CERNがLHC建設の際に導入したプロジェクト・アソシエイトという仕組みは極めて効果的に機能しており、ILCにおいても参考にすべきである。
- ILC計画の建設では平均して年約~~8304~~8304、~~1000~~人の人員が必要であるが、ピーク時には約~~1,2004~~1,2004、~~600~~人の体制を作る必要がある。
- 現状、国内では、新たな要素技術開発や既存施設・設備の改修等を行う人材は確保できているが、ILC計画との関連で大規模に人材が必要となった場合は、現在の育成状況では不足することが想定される。
- また、ILC計画の建設全体において、加速器に関する技術開発が重要となるフェーズは前半であり、建設が進むにつれて開発の要素は少なくなっていく。必要となる人材については、建設のフェーズに応じて変化することに留意が必要である。
- 今後、我が国として加速器プロジェクトを継続して遂行していくためには、持続的に人材を育成・確保していくことが必要であり、ILC計画の実施の可否によらず、加速器分野の人的基盤の強化が必要である。
- また、ILC計画のような国際協力プロジェクトを実施するに当たっては、少人数の加速器の専門家が役割を分担しつつ相互に助け合いながら進めるという我が国の従来的なやり方だけでなく、各技術分野に高い専門性を持つ技術者をプロジェクトの実施に際して適材適所で動員・配置し全体を統括する海外の手法をも取り込み、両者が融合したような新たな手法も検討する必要がある。
- 加えて、プロジェクトの大規模化に伴ってより複雑なマネジメントが求められることが想定されるため、技術開発やエンジニアリング、全体システムとしての工程管理など、複

層的にマネジメントを行えるような体制を構築することが必要と考えられる。したがって、複層化するマネジメントのそれぞれの階層に応じて中核となる人材を育成していくことにも留意すべきである。

3. 今後の課題と当面の対応方策

(1) 国内での人材育成

- ILC計画のような大規模なプロジェクトを実施するに当たっては、現状の国内の人員では明らかに質・量ともに不足する。国際的な合意に基づく適切な分担を定めた上で、戦略的・計画的に必要な人材を育成していくことが不可欠となる。
- 特に、我が国が主導的な役割を果たす場合は、大規模プロジェクトのマネジメントができる人材の育成・確保が必要である。この際、LHCの建設・運用時における事例も参照にしつつ、リスク要因を抽出・分析し必要な対応方策を検討・実施するリスクマネジメントの観点も重要となるものと考えられる。
- また、加速器分野の人材の必要量はILC計画のような大規模計画により一時的には増えても、増員分の一部は恒常的なものではないので、計画終了後を想定し、育成した人材のキャリアパス（国内の展開のみならず、海外での活躍も含む。）をあらかじめ考えておくことが求められる。
- その際、加速器というシステム全体を俯瞰して見られる加速器の専門家を着実に育成・確保するとともに、各技術分野で高い専門性を有する技術者をプロジェクトに動員することにより、必要な人材量の変動に柔軟に対応できるような体制を整えることが望ましい。
- 例えば、現在でも既存施設の改修や機器の大規模なアップグレードなどは行われており、そのような機会を捉え、現場経験を踏めるよう積極的に若手人材を投入し、育成することが考えられる。
- また、新たな加速器の建設計画が実現する場合には、国を挙げて若手人材の育成の場としても活用すべきである。その際には、システム全体を統括するようなポストに若手を登用し、マネジメントについても経験させ、リーダーとしてプロジェクトを牽引していくような人材を育成することも重要である。

- 加えて、規模の大小を問わず、国内の加速器施設間の連携を促進するネットワークを構築することで加速器分野の人材の交流を活性化し、どこかで加速器の建設が行われるときに、そのネットワークから人材を集中的に投入し、多くの人に建設の経験を積ませることができるようにする仕組みの導入を図ることも考えられる。例えば、次に加速器関連のプロジェクトが動き出す際、従来の併任や兼任に加え、クロスアポイントメントなどの雇用形態も活用し、プロジェクトの推進主体である組織にも正式に所属する形で責任を持ってプロジェクトに関与できるような体制を構築するなどの方策が考えられる。
- 人材育成に当たっては、海外における加速器施設の建設・改修の際に、上記のネットワークも生かしつつ積極的に若手人材を派遣し、その場を活用して経験を積ませることも検討すべきである。
- このほか、システムとしての加速器に必要とされる各技術分野の技術者との交流を積極的に進め、少数の加速器の専門家だけがプロジェクトを担う体制から関係する技術分野の多様な技術者も加わってシステム全体を支える体制へと、人材の裾野を広げていくことも重要である。また、過去に大型加速器プロジェクトを中心となって進めてきたシニア世代にもできるだけ現場に入り活躍してもらおうとともに、その共同作業を通じてこれからを担う若い世代に経験や技術が伝承されることが期待される。
- なお、ILC計画のような個別のプロジェクトに対応するための準備としての人材育成については、具体的なスケジュールが明らかになった時点でいつまでにどれだけといった目標を設定することとなる。一方で、我が国が将来にわたって持続的に加速器プロジェクトを推進していくために必要な人的基盤の整備としての人材育成の取組については、取り組み可能なものから順次取り組んでいくことが望ましい。

(2) 海外からの人材供給

- ILC計画に必要な人材については、国際協力における相互の分担について海外パートナーと綿密に調整を図ることが前提となる。海外からの供給量については、実行可能な計画となるよう先方からの供給可能量や供給可能時期を踏まえた上での調整が重要である。
- 加えて、海外の研究者・技術者が参画することを想定すると、海外研究機関における給与や勤務条件等（特に、給与・処遇面での格差）の調整のみならず、住環境、各種の生活サポート、家族への生活支援等を含めて、地元地域の協力も得つつ総合的に環境を整備していくことが重要であり、そのための検討が必要である。

ILC 加速器建設に必要な人材見積り

準備期間(4年)～建設期間(9年) ILC-500 → ILC-250

Stage	準備期間				建設期間									積算 [人年]
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
準備	118	161	222	282										
TDR					TDR, ILC-500 建設期平均: ~ 1,100人									
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-250					ILC-250: 建設期平均: ~ 830人									
建設					385	610	890	1050	1210	1100	1000	770	450	7,465
据付							60	60	60	655	960	500	350	2,645
合計					385	610	950	1110	1270	1755	1960	1270	800	10,100

