

## Facilities construction for XFEL machine AC power supply & cooling water system

Sekiguchi Yoshihiro<sup>A)</sup>, Narishige Msasahiko<sup>A)</sup>, Muroyama Kohji<sup>A)</sup>, Kubo Mitsuru<sup>B)</sup>,  
 Ikeda Teruyoshi<sup>B)</sup>, Hashiguchi Hirohiko<sup>B)</sup>, Fuse Masahito<sup>B)</sup>, Taitouda Akira<sup>C)</sup>, Kashima Masaaki<sup>C)</sup>,  
 Sugiyama Manabu<sup>D)</sup>, Ueno Hitoshi<sup>D)</sup>, Oike Hideki<sup>E)</sup>, Oshima Kazuo<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> RIKEN  
 2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198  
<sup>B)</sup> Nikken Sekkei  
 2-18-3 Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8117  
<sup>C)</sup> KINDEN CORPORATION  
 2-3-41 Honjou-Higashi, Kita-ku, Osaka, 531-0074  
<sup>D)</sup> Sanki Kogyo  
 2-1-1 Nihonbashi-murocho, Chuo-ku, Tokyo, 103-8331  
<sup>E)</sup> Asahi Kogyosha  
 1-25-7 Hamamatsucho, Minato-ku, Tokyo, 105-8543

### Abstract

*In the construction of the accelerator facility, the machine installation, including system for AC power supply and machine cooling water supply, is generally ordered separately from the construction of building. These systems are often ordered as additional equipments of machine to a machine constructing company. In our XFEL project, these systems were designed and constructed by the companies as same as the building construction. In this case, it was confirmed that there are many advantages such as a certain and safe execution, a rational placement plan, a reduction of the cost, a shortening of the project period.*

## XFEL交流電源・冷却水設備を建設工事でやってみた

### 1. はじめに

独立行政法人理化学研究所では財団法人高輝度光科学研究センター（JASRI）と共同で西播磨Spring8キャンパス内にX線自由電子レーザー施設（以下XFELという）を建設中である。

XFELは硬X線レーザーを発生させる施設であり、世界中で開発が進められている。日本においても国家機関技術の一つとして、世界最強度、世界最高品質のX線レーザーの発振を平成22年度中に実現させる計画である。

XFELは線型加速器によって電子を8GeVまで加速し、その電子ビームをアンジュレータと呼ばれる光源装置に通すことによって、X線レーザーを発振させる。

これらのマシン類を収納する全長700mにもおよぶ長大な建屋の建設工事が平成21年3月に竣工した（図1）。

一般的に加速器施設の建設においては、建屋建設工事とマシン類は別に発注される。マシンに電力を供給する交流電源設備やマシン冷却水設備も、マシンに付随する設備としてマシンメーカー等に発注されることが多い。今回の建屋建設工事においては、

マシン交流電源とマシン冷却水設備を建屋建設工事に含めて発注した。設計は日建設計が行い、電気設備はきんでんにより、機械設備は三機工業と朝日工業社により施工されたが、数々のメリットがあることが確認された。



（図1）

### 2. 試験加速器SCSSでの成功

日本のXFELの特徴の一つに、コンパクトであることが挙げられる。諸外国の計画に比べ1/2～1/3程度

の大きさで、X線レーザーを発振させる。そのためマシン類の実装密度が高く、その配置について建屋との緊密な調整が必要となる。また、加速周波数が高いため、マシン冷却水の精密温度制御が要求される。さらにコンパクトであるため低コストでの設置も求められている。

8GeV実用機に先立ち、加速性能250MeVの試験加速器SCSSをキャンパス内既存棟内に平成18年に完成させた。本施設において真空紫外線領域でのレーザーの発振に世界で2番目に成功することができた。

その後SCSSは安定運転のためのチューニングが綿密に行われ、現在では真空紫外線レーザーを利用した実験にも供用されており、数々の研究成果を生み出すに至っている。

SCSSの成功により、交流電源、マシン冷却水設備の経験が蓄積され、8GeV機においては建屋建設工事として設計・施工する目処が立った。

### 3. 電圧降下に配慮した交流電源

SCSS建設時、当初マシン用交流電源はメーカーに発注する予定であったが、要求する性能が通常の変電設備と同等であったため電設工事会社からも見積りを取得した。その結果、メーカー見積りの6割程度の価格での発注ができそうであったため、一般競争入札により兵庫県内の電設工事会社に発注された。懸念されていた性能、品質については、適切な施工管理と施工者、盤メーカーの努力により必要十分なものが設置され、まったく問題はなかった。この経験から、8GeV機においても建設工事として設計、施工することは問題なく可能であると判断した。

8GeV機の設計において特に配慮したのは、電圧降下の問題である。交流電源AC420Vを給電するのは、モジュレータへ高電圧を供給するためのインバータ電源装置である。インバータ電源装置の運転電圧範囲を420V±5%とした。入力電圧変動を小さくすることによって、内部配線導体を細くできるなど、コンパクトで省コストに製作できることが分かった。電圧降下を小さくするために、加速器が設置される400mの範囲に高压変電所を4分散して設置した。これにより低圧配電距離を50m程度とすることができ、配電距離による電圧降下を抑えることができた。また、高低圧変圧器も1台2000kVAなどの大容量のものを選定し、インピーダンスを低く抑えることにした。

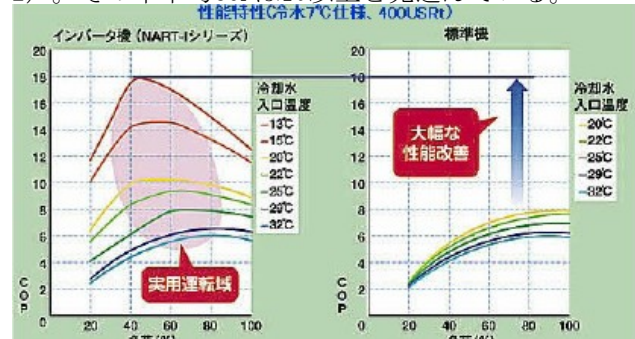
### 4. 高効率な冷却水設備

SCSSのマシン冷却水設備は、実験機器のひとつとして埼玉県川口市の三栄技研に発注された。冷却能力は300kWであり、負荷変動に対応するため複数台のコンプレッサを並列させたシステムとなっている。精密温度調整は、それぞれのコンプレッサにホットガスバイパス回路を設けることによって行っている。設計要求温度制御は±0.2°Cであったが、実際に稼

働させてみたところ±0.1°Cでの制御が可能であり、加速器の安定化に貢献した。三栄技研は中小企業であるが、当方の必要意図を非常によく理解してくれ、オーダーメイドでの機器製作を行ってくれた。

しかし、精密温度制御をホットガスバイパスで行っているため効率が悪く、そのCOP（成績係数＝冷却熱量÷消費電力量）は1程度であった。8GeV機のマシン本体の消費電力は5000kWと試算されていたので、COP 1では冷却設備も消費電力5000kWの膨大なものになってしまうことが懸念された。実用機においては精密温度制御を実現しつつも、省エネルギー、省コストの冷却設備を設計することが課題となった。

8GeV機においては、主熱源を建屋冷房設備と兼用とし、マシン冷却水の1次冷水用熱源としてインバータターボ冷凍機を採用した。本冷凍機は圧縮圧力を可変とできるため、外気温度が低い季節や負荷率が小さい時に圧縮圧力を下げて運転することができ、従来機に比べ大幅な省エネ運転が可能となる（図2）。その年平均COPは10以上と見込んでいる。



（図2、三菱重工HPより）

さらにインバータターボ冷凍機の温度制御は、定常負荷時において±0.5°Cのできるため、この1次冷水を利用してマシン冷却水の温度制御を行えば、比較的単純なシステムで必要温度制御を行える。今回施工においては、SCSSで経験のある三栄技研が協力会社としてエンジニアリングを行い、三機工業が機器類の施工を行った。互いの得意な部分の技術を補い合った施工ができた。

## 5. 建設工事によるメリット

### 5.1 プロジェクト期間の短縮

通常、建屋建設工事竣工後にマシン交流電源やマシン冷却水設備の設置は行われる。建設工事期間と機器製作期間はオーバーラップさせることがきるが、同一現場内での作業はできないので機器の設置は建屋竣工を待たねばならない。

交流電源の設置作業を建屋竣工から始めた場合、高压配電線引き込み、高压盤設置、低压配線、分電盤設置、そして受電と、大規模加速器施設であれば相当程度の時間が必要となる。また、加速器収納建屋は放射線遮蔽上の必要性などで複雑な形状をしており、天井高も高く配線作業も容易ではない。



同じくマシン冷却水設備を建屋竣工後から始めた場合、特に大流量配管の設置など、施工検討を含めて大変な時間と労力を要する。配管重量も大きいため、その荷重を建屋のどこで支えるかなど、建築躯体との調整もあらかじめ綿密に行っておかないと、必要な設備ができない恐れもある。ならば建築躯体と一体に設計、施工するのが合理的である。

今回これらを建屋工事として実施したため、当然ながら建屋竣工時には交流電源、マシン冷却水設備の設置は完了しているわけで、ただちにマシンの設置作業を開始できた。建設工事期間中に配管、配線作業も行ってしまうため、建設工事で設置した仮設足場なども利用することが可能で、余計な手間を必要としない。高圧受電前検査においても、建屋用一般電源と同時に検査、受電できるため非常に省力化が可能であった。

以上により、本計画では約半年程度プロジェクト期間を短縮できたと考えている。

## 5.2 安全・確実な施工

建設工事においては、建設業法上主任技術者または監理技術者がその品質、安全、工程、コスト等を監督することが義務づけられている。これら建設工事技術者の現場常駐が法令で義務づけられ、建築基準法、労働安全衛生法、電気事業法などを遵守して施工が進められる。メーカーによって機器類が設置がなされる場合、足場など仮設物も不十分の中で作業員が危険作業を行う例も散見される。またメーカーには監理技術者など、工事を指導監督する人材も十分ではない。それが完成後の端子部の焼損、結線間違えによる不動作や誤動作、漏電、水漏れ等の発生を招く。

また、公共工事においては国土交通省基準である「標準仕様書」などマニュアルが完備されているため、間違いのない材料選定、機器製作、現場施工手順、試験方法を選択可能である。通常建設業者であれば、これら法令やマニュアルに精通した人材が揃っている。

プロジェクトの成功のためには、事故はもちろん、手直しや手戻りなどが発生しない、間違いのない確実な施工が求められるが、今回監理を担当した日建設計と施工を担当したきんでん、三機工業、朝日工業社の優秀なスタッフにより、それが実現したと考える。

## 5.3 合理的な配置計画

本計画においてはコンパクトな設備とするため、マシン類を高密度に設置していく必要がある。特に加速管にパワーを送るクライストロンを設置するクライストロンギャラリーは、交流電力を供給するための分電盤やマシン類を冷却するための冷却水配管も設置され、非常に混み合い入り組んだ場所となる。そのため各設備の取り合いを総合的に充分検討する必要がある。

今回は建築工事が建物基礎工事を実施している1

年近くの期間に、じっくりと長時間かけて総合図を作成して取り合いを検討することができた。建築施工者が平面図、立面図、断面図など多種類の躯体詳細図を作成し、そこへ電気設備、配管設備、マシン設備をプロットしていき、総合調整を行った。その結果、±10mmレベルでの調整が可能となり、非常にスッキリとした配置を実現できた(図3)。



(図3)

## 5.4 経済的な発注

本プロジェクトは膨大な国費を投じての研究実験施設の建設であるので、経済的で合理的な発注が求められた。マシンメーカーへの発注の場合、多くは見積り書により発注額が決定されるため、それが本当に妥当な金額であるかどうか判断しづらい。その点、建設工事での発注では『建設物価』など公刊物において実勢価格が公表されているので、妥当な価格での発注が可能である。また、発注者や設計者もこれまでの建屋建設工事での経験から、妥当な金額であるかどうかの判断が可能である。今回工事においても適切な工事費で発注することができ、プロジェクト予算の範囲で最良の発注ができたと考える。

## 6. まとめ

建屋の竣工引き渡しを受け、現在はマシン類のインストールが開始されたところである。通常建屋設備工事における瑕疵担保期間(保証期間)は1年間であるので、マシン類インストール期間を利用して、建屋設備の不具合の洗い出し、是正を行っている。また、想定しうる運転状態での建屋設備運転員の教育訓練も行っている。これによりマシン試運転調整が開始されるには、建屋設備は完全な運転状態にまで仕上げていき、マシン類の立ち上げ時に建屋設備トラブルによる遅延などが発生しないようにしたいと考えている。

今回の経験から、マシン交流電源、マシン冷却水設備は建屋との関連が強いため、建屋建設工事に含めて設計、施工するメリットが大きいことが分かった。今後も経験を積み重ね、合理的な発注法を採用していきたい。