

REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN AIST ELECTRON ACCELERATOR FACILITY

Ryouichi Suzuki, Nagayasu Oshima, Atsushi Kinomura, Brian E. O'Rourke, Toshiyuki Ohdaira, Hiroyuki Toyokawa, Norihiro Sei, Hiroshi Ogawa, Ryunosuke Kuroda, Masahito Tanaka, Masaki Koike, Kawakatsu Yamada

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568 Japan

Abstract

The energy consumption of the AIST electron LINAC facility has been reduced from 4GWh (FY2003) to 1.3 GWh (FY2010) by optimizing the water-cooling system, klystron modulators, water temperature control system for the accelerating tubes, air conditioning system, etc.

産総研電子加速器施設の省エネ化

1. はじめに

産総研電子加速器施設は、400 MeV 電子リニアック、800 MeV 電子蓄積リング、自由電子レーザー用蓄積リング、LCS-X 線発生用小型電子リニアックなどからなる電子加速器施設である。2004 年度よりこの施設の省エネ化対策を継続的に行ってきた消費電力量を 2003 年度の 3 分の 1 にすることができた。本稿では、これまで行ってきた省エネ化の経緯や対策について述べる。

2. 産総研電子加速器施設の年間電力使用量の推移

従来の 400 MeV リニアックは、22 MW のピーク出力 8 本の E3776 クライストロン、20 本の加速管からなり、最大 300 pps のパルスレートの電子ビーム発生するため、大型冷却塔（冷却能力 1.6MW）、ターボ冷凍機、ボイラー熱源を利用した集中型の空調・冷却水システムであった。この施設の改修前の消費電力の 2/3 以上が空調・冷温水系のために使用されていた。

このリニアックは、電子蓄積リングの入射と陽電子ビーム実験に使用されているが、蓄積リングの入射に必要な電子パルスは 320 MeV・2 pps、陽電子ビーム実験では 70 MeV・100 pps とリニアックのフルパワー運転からは程遠い運転状況となっていた。このような加速器の能力の一部しか使用していない実験では、従来の空調・冷却系は極めて効率の悪いシステムであった。この状況を改善するために、2004 年度より各種省エネ化対策を行ってきた。

図 1 に産総研電子加速器施設の年間電力使用量の

推移を示す。産総研電子加速器施設では、2003 年度に約 400 万 kWh の電力使用量があったが、2010 年度はその 1/3 の 130 万 kWh、2011 年度は震災に伴う加速器の停止や電力制限の影響もあり、2003 年度の 1/4 の 100 万 kWh 程度になる見込みである。最初にこの電力量の変化の主な要因について述べる。

2004 年度から 2006 年度にかけて、消費電力量はほぼ半減している。2004 年度は、熱源の土日運転を止めることによって 2003 年度より数%削減した。2005 年度から 2006 年度の大幅な減少は、空調・冷温水系の改修と新しいマイクロ波高周波源の導入によるものである。空調・冷温水系の改修については 2006 年の加速器学会^[1]で、新しいマイクロ波源については 2007 年の加速器学会^[2]で報告している。

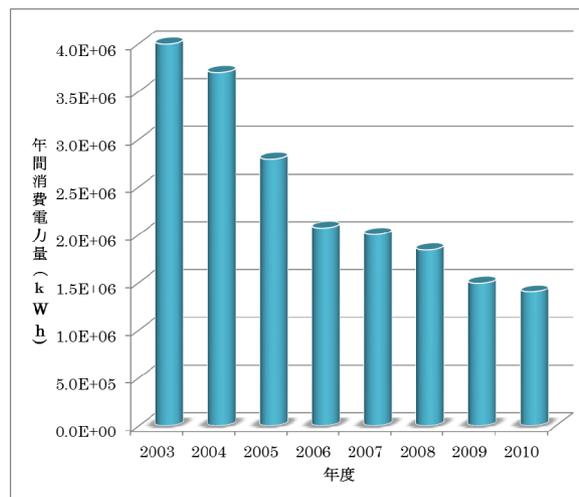


図 1 : 産総研電子加速器施設の年間電力使用量の推移

図2に2台の電子リニアックの電源であるモータージェネレータ (MG) の稼働時間の年度推移を示す。電力の使用量は2004年度から2006年度にかけて大幅に減少しているにもかかわらず、MGの稼働時間は1000時間ほど増えた。これは、2004年度までは压力容器の点検など冷温水系のメンテナンスで毎年1か月以上運転を停止していたのに対し、空調冷温水系の改修後は時間のかかるメンテナンス作業がなくなり、ほぼ1年を通して休止期間無しに稼働が可能になったためである。

また、2008年度から2009年度にかけての消費電力量の減少は、原油高による電力料金が高騰し光熱費の増加を抑えるため、夏季1ヵ月間加速器の稼働を止めたことによる。また、空調・冷温水系の設定温度や使用時間の見直しも行った。2010年度は2009年度に比べ消費電力量がさらに減少しているが、これは震災により3月後半の電力使用量がほぼゼロになったこと及び後述する蓄積リング圧縮空気系の省エネ化の効果による。2009年度及び2010年度のMG稼働時間は、加速器の停止期間により2006-2008年度よりも減少した。しかし、この稼働時間は2003年度や2004年度と同程度にとどまっており、2003年度から2010年度までにMG稼働時間あたりの消費電力量は1/3に減少したことになる。

次章にこの省エネ化の各対策について述べる。

3. 省エネ化対策

産総研加速器施設の電力消費を削減するため、電力 (エネルギー) を

- 「必要な量だけ」
- 「必要な時間だけ」
- 「必要な場所だけ」

使用するというコンセプトとして各種の省エネ化対策を行ってきた。この対策は、大別して空調・冷温水系など施設のユーティリティ部分の改修と電子リニアック本体部の改造からなるが、それぞれ単独で行ったのではなく、リニアックの改造で発熱が減少することを見越して空調・冷温水系の仕様を必要最低限の能力とするなど、相互に連携して対策をとった。

3.1 空調・冷温水系の分散化

2005年度から2006年度にかけて、従来の老朽化した空調の改修工事が行われたが、この工事の機会に空調・冷温水系を従来の集中型の方式から分散型の方式に変更しそれぞれの実験に応じた最小限の空調冷温水系を駆動できるようにした。また、エネルギー消費が大きい恒温恒湿の空調を止め、湿度は成り行きとした。この改修の詳細は2006年加速器学会^[1]で報告しているが、以下にその概要とその後の状況について述べる。

恒温恒湿を止めることで電子銃やクライストロン

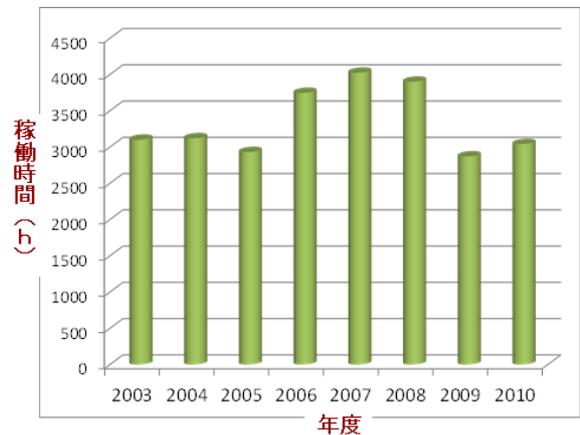


図2：産総研電子加速器施設のMG稼働時間の推移。

モジュレータなど高電圧装置に対する湿度の影響が懸念されたが、加速器の運転に支障がでるほどの影響は起きていない。これまでにクライストロンモジュレータ内の乾式の高電圧トランスの放電・損壊が2回起きた。この高電圧トランスは30年近く使用してきているものであり、老朽化で絶縁体の絶縁性能が劣化してきたことが主要因で、湿度の悪化が放電の引き金になった可能性もある。

空調の機器は、実験を行っている時以外は停止することを心がけるとともに、さらにエネルギー消費を抑えるため、加速器の運転中でも稼働させる空調機器を最小限にしている。特に加速器室は地下にあるので温度変化が少ないため、加速器の運転中は加速器室の空調・換気を止めている。

従来の冷温水系は、ポンプ室が1階・中二階、主配管が地下2階にあり配管が長く送水ポンプの電力が非常に大きかったが、新たな冷温水系は加速管のすぐ近くに循環水タンクや送水ポンプを設置し、配管経路長を1/10以下にすることにより、送水ポンプの能力も従来合わせて100kW以上であったものを10kW以下にした。さらに、蓄積リングへの電子ビーム入射用に使っている加速管は、2ppsで運転するため発生する熱量が少なく、ダミーロードの冷却部は水を循環させるだけで能動的な冷却装置は設けていない。

冷温水系は、改修してから5年ほど経っていて、これまでチラーの温度センサの故障など軽微な故障が幾つか発生したが、大きな問題は起こっていない。

また、加速器施設内の空調等の改修を行わなかった各設備の電力消費量を調べていったところ、圧縮空気製造装置がオーバースペックで無駄な電力消費がされていることが分かった。そこで、圧縮空気系も分散化し、それぞれの実験室毎に小型のコンプレッサあるいはガスポンプを設けた。

E. Minehara, N. Oshima, T. Ohdaira, R. Suzuki: Generation of Slow Positron Beams Using a Superconducting Accelerator, this proceedings.

3.2 リニアックマイクロ波系の改修

従来の電子リニアックのクライストロンモジュレータは、蓄積リングの入射では 2pps では動作が安定しないことから、50pps でクライストロンを動作させ、マイクロ波のみ 2pps で出力するということをしてきた。しかし、クライストロン 8 台を 50pps で動かすと 100kW 以上電力を消費し、無駄が多かった。そこで、従来の 4 倍のピーク出力を有し、2pps 運転が可能な E3712 クライストロンを導入した。同時にこのクライストロンに接続する導波管系も改修し、リニアック後段の 8 本の加速管にマイクロ波を供給するようにした。

新しいクライストロンモジュレータは、湿度が制御されていなくとも動作するように、PFN やトランスを全て絶縁油中に入れる方式とした。この絶縁油は、消防法の問題を避けるため、通常の石油系の絶縁油ではなく発火点の高いシリコン油を用いている。

4. まとめと今後の課題

本稿では産総研電子加速器施設の 2003 年度以降の省エネ化対策について紹介した。電子リニアックの高出力クライストロンの導入や空調・冷温水系の改修によって、リニアックの稼働時間を減少させずに大幅な電力消費の削減を実現した。

しかしながら、東日本大震災の原発停止による電力の逼迫による影響で、さらなる電力消費の削減・エネルギー効率の向上が要求されている。それに対応する方策として、アイドリング電力が大きな 1MW 出力のモータージェネレータの停止およびそれに伴う 400V 系のトランス化・モジュレータ電源のインバータ化を現在行おうとしている。また、陽電子ビーム実験では、高パルスレートの高エネルギー電子ビームが要求されるが、常伝導のリニアックではパルスレートに比例してクライストロンの発熱が増加するため、電力を増加させずに性能向上を行うには限界がある。そこで、陽電子ビーム発生用加速器を MHz オーダーのパルスレートも可能な超伝導加速器とする研究も進めている^[3]。

参考文献

- [1] R. Suzuki, K. Yamada, M. Koike, S. Ichimura, N. Sei, H. Toyokawa, H. Ogawa, M. Yasumoto, R. Kuroda, T. Ohdaira, A. Kinomura, N. Oshima : 50% Reduction of Energy Consumption in AIST Electron Accelerator Facility, Proc. 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 242-244 (2006).
- [2] R. Suzuki, N. Sei, H. Toyokawa, H. Ogawa, R. Kuroda, T. Ohdaira, A. Kinomura, N. Oshima, K. Yamada: Remodelling of RF system of AIST 400MeV LINAC, Proc. 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 531-533 (2007).
- [3] B. E. O'Rourke, N. Hayashizaki, A. Kinomura, R. Kuroda,