

### 加速器の省エネルギー

渡邊 誠 (東北大学名誉教授)



1990年ごろ、私は大型放射光施設 (SPring-8) の加速器専門委員の一人でした。ある委員会で少し本題を離れて自由に発言してもよいというときがあり、加速器から放出される排熱を再利用できないかという発言をしました。委員のどなたかが頷いてくれたような気がしましたが、議事録にのっているかどうか分かりません。最近 SPring-8 の方に聞いたところ SPring-8 では、磁石の冷却水は年間を通じてエネルギー効率を最もよくするために温度を高めに設定し、また室内の空調温度も高めに設定して省エネルギーを図っているが、排熱利用はしていないとのことでした。そして、排熱利用ではありませんが、理研の RIBF (Radioisotope Beam Factory) が電熱併給設備 (cogeneration system) を一部用いていることを教えてくれました。早速インターネットで調べたら藤縄 雅さんの報告があり、この設備は京都議定書を踏まえた理事会からの省エネルギーの提案に応じて、2003年に完成したものでした。また高エネルギー研の小関 忠さんに聞いたところ、このような設備はまだ J-PARC には導入されていないとのことでした。J. Schmerge さんによりますと、SPEAR 3 では top-up 入射に必要なときだけ入射器を運転するようにしているが、それ以外の特別な省エネルギーは行っていないということです。I. Munro さん、P. Dhez さん、T. K. Sham さんにそれぞれ DIAMOND, SOLEIL, CLS について聞いてもらいましたが、効率的な空調等以外には特別な設備は導入されていないようです。なお、H. Winick さんは、DESY では北アフリカや中東で太陽光発電をして電力を供給する計画が議論されていると教えてくれました。

円形加速器は通常 1 T 程度の磁場を使って荷電粒子を回します。その際、無酸素銅でできている電磁石のコイルを 1 次冷却水で冷します。そうすると  $1 \text{ cm}^2$  あたり 500~1000 A の電流を流すことができます。しかしやはり抵抗があり、発熱量は大変大きいです。空冷の場合は、 $1 \text{ cm}^2$  あたり 100 A 程度しか流せないで、磁石が大きくなり現実的ではありません。円形加速器や線形加速器の高周波空洞も無酸素銅でできています。大きな電力が投入されるので同様に水冷が必要です。大きい加速器では必要な電力が数 10 MW 程度あるいはそれ以上になります。加速される粒子のエネルギーや発生する放射光のエネルギーは、それらに比べて小さいですが、これによる熱も水冷します。1960年代は温まった 2 次冷却水を空気で冷やしていました。東大核研には 2 次冷却水を蓄えるプールがあって、そこに向かって温水が噴出していました。1.3 GeV の電子シンクロトロンを使って放射光実験をしていたころ、夏にはこのプールでよく泳いだものです。1970年代からは一般に水の気化熱を有効に使う効率のよい冷却塔が利用されています。冷却すべき温水の熱は低温排熱と呼ばれ熱量は大きいです。温度が低く利用が難しいものです。兵庫県の粒子線治療センターなどでは、加速器の排熱は病院の温水・蒸気の供給に利用されているものの、多くの場合大気中に放出されるので「もったいない」ということになります。ただし工場など一般の低温排熱は別の工程に必要な温

---

水・蒸気の供給や、暖房などによく利用されています。

RIBF の場合、すべての電力が東京電力から供給されているのではなく、自前の電熱併給設備を備えています。この設備にはガスタービン発電機が用いられ、燃料は東京ガスから供給されています。この発電機は RIBF に電気を供給するだけでなく、これから発生する高温の排ガスを、主として加速器を冷却する吸収式冷却機の再生器の熱源として利用しています。この冷却系は、加速器を冷媒の気化熱を利用して冷却し、気化した冷媒を吸収器の中で溶媒に溶け込ませ、その溶液を再生器の中で加熱し冷媒と溶媒とに分離し、冷媒は凝縮器で再び液化し冷却に利用し、溶媒を吸収器に戻すものです。この電熱併給設備のエネルギー利用率はかなり高く、電気出力 (6.5 MW) と冷却能力 (3.3 MW) を合わせて元々の燃料の有するエネルギーの約68%に達しています。また送電ロスも無視できます。しかし、加速器からの排熱そのものは温度が低いということで利用されていません。

最近、低温のエネルギーを利用するいくつかの技術が進歩しているようです。例えば、気化した冷媒を吸着させる吸着式冷凍機の最近のものは80°C以下でも有効に働くとのこと。もしこれが使えれば加速器からの排熱がかなり加速器の冷却に再利用できることになります。また水蒸気の代わりにより低温で蒸発する物質を使ってタービンを回す発電機も開発されています。海洋温度差発電は20°C程度の温度差で発電するもので、設備は大きくなると思われませんが MW 規模のものも考えられています。これとは別に熱電変換効率はまだ10%程度ですが、発電能力が 3 kW 程度の小型の装置もあります。固体の熱電変換素子は変換できる電力が小さいので、制御用電源に利用されているようです。私は省エネルギーの専門家ではないので的を射ているかどうか分かりませんが、直接低温排熱を熱源とするのではなく、ヒートポンプを使って高温のエネルギーに変換し、発電を容易にすることも考えられるのではないのでしょうか。

問題は費用だと思います。計画に当初から含まれておれば別ですが、後から備えるのは、場所の問題、既設の種々の装置との整合性の問題等があり、高額になるのは避けられないでしょう。それでも、もし10年位で設備費の元が取れるのであれば、既設の施設に設備することも可能だと思います。加速器の性能向上に日夜努めている専門家の方だけでこのような異分野のことまで手が回らないかも知れませんが、省エネルギー関係の研究者との共同研究などにより設備の導入を考えて頂くのはいかがでしょうか。