

小特集「高エネルギー物理学における極限的コンピュータ利用技術」 の編集にあたって

川添良幸† 秋山義博††

高エネルギー物理学は巨大科学の一研究分野である。物質の究極の姿（素粒子と呼ぶ）やそれが従う自然法則を調べる研究分野である。素粒子反応は複雑多様で細かく想像を絶する超瞬間に起こるので、コンピュータや情報処理技術をふんだんに利用してその実験装置を開発し実験結果データの解析を行っている。

まず、このような実験装置は図-1 に示すように粒子加速器（陽子、反陽子、電子、反電子、などを電気的性質を利用してほとんど光速に達するまで加速する）、粒子反応観測測定器（そのような粒子を衝突させていろいろな反応を観る）、およびそれらの制御装置から構成される。その観測技術、制御技術は、素粒子の〔大きさ〕が 10^{-15} cm ぐらい、粒子速度はほとんど光速で衝突し反応を起こすことに対応して作動することが要求される。一方、いったん実験が開始されると24時間連続実験が数カ月にもわたり行われる。素粒子反応の情報は測定器を通してデータとして取り出すが、一反応当たり約10キロバイト、毎秒3-5反応イベントの割合で発生させるので、一実験当たり得られる総データ量はテラバイトのオーダーに達する。したがって、このような大規模装置の長時間自動運転技術、大量データの処理技術、管理技術、共同利用のためのネットワーク技術が重要になる。かつて物質としての電子の基本的性質を研究した物理学がその後のエレクトロニクスとコンピュータの発展の基礎になり、その発展がさらに小さい素粒子の物理学の研究に不可欠になっていることは分かるが、さらに、これらを実現するためのシステムおよびソフトウェア技術も大変重要になる。

本小特集では、このような日常の世界ではあまり経験しない（時空的）極限的コンピュータ利用技術を、この高エネルギー物理学研究の世界におけるコンピュータ利用例を取り上げて読者向けに分かりやすく紹介する。一般に、極限的利用技術は研究上の「必要性」から開発され粗削りであるかもしれないが、現在世界をリードしている二つの素粒子物理学研究施設：茨城県つくば市にある高エネルギー物理学研究所 (KEK) TRISTAN と米国カリフォルニア州スタンフォード大学にある SLC、を選び、そこで実現されている極限的コンピュータ利用技術

を紹介する。本学会誌読者は特にこれらの巨大実験装置のコンピュータ制御、素粒子反応観測器から得られるデータのリアルタイム処理、そして実験から得られる膨大なデータの処理と管理などに興味があるので、以下に述べる4つの観点からそれらの技術を具体的にみると分かりやすいであろう。

1. 極限短時間間隔に発生する素粒子反応の検出とそのデータ収集技術

極限短時間間隔で完了する素粒子反応の実験研究は、それに瞬時に対応できる能力を有する検出器および検出された反応に関するデータの即時処理技術を基礎として初めて実現できる。現在の情報処理の世界での高速コンピュータでも 10^{-3} 秒間隔に発生する事象に対応できるようには設計されているが、高エネルギー実験技術はこれのさらに一万分の一のオーダー時間で動作し観測する技術を実現している。実にスーパーコンピュータのマシンサイクルのオーダーでの処理ということになる。工夫を凝らしたコンピュータをどのように用いて検出装置を制御し、またその素粒子反応のデータを生成収集するかを知るとは、ソフトウェア、ハードウェアを問わず広い意味で情報処理に関わる人々にとって新しい技術として役立つものと思われる。

2. 巨大高エネルギー粒子加速器制御技術

高エネルギー物理学が巨大科学の一つと言われるのは、その巨大粒子加速器にあらう。現在、我が国、米国、ヨーロッパ共同体、旧ソ連などに建設されている加速器の大きさは線形または円形をしていてその形に応じて数キロメートルから数10キロメートルにおよぶ（極限装置サイズ）。電磁現象を利用して、電子、反電子（陽電子）、陽子、反陽子を加速器の直線またはほぼ円形の形状に沿ってほとんど光速に達するまで加速する装置である。そのため、加速器の数多くの箇所にコンピュータを配置してその全体を統合し制御する。光が1秒間で地球を7回半まわることを思い浮かべればこの制御が尋常ではないことは容易に想像できる。このような巨大加速器を長時間にわたって安定に制御する技術と微妙な制御をする技術は非常に興味深く参考にならう。現在、さらに大型の加速器を米国テキサス州に建設するために国際協力の下にその加速器の遠隔操作技術も（日本から操作できるようにするかもしれない）検討されていると聞く

† 東北大学金属材料研究所

†† 日本アイ・ビー・エム(株) SE 研究所

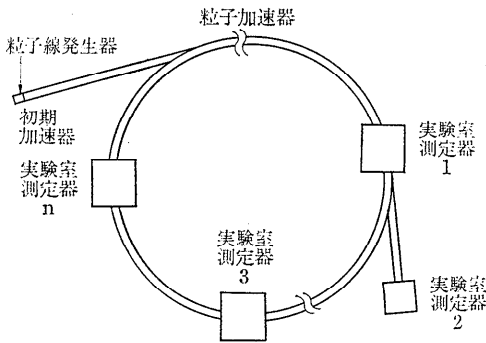


図-1 粒子加速器および実験測定器

が、これらの技術はますます改良進歩すると期待できる。

3. 超大量データ処理とその管理・利用技術

素粒子反応実験は、いったん始めれば一日 24 時間休みなしで数カ月におよび行われる。その間に得られるデータ量はテラバイト (10^{12} バイト) にも達し(極限データ量)、さらに素粒子反応が確率的であるため(通常 100 万個の反応中に 1 イベント見つかるくらい)、実験結果の品質はそのデータ量に大きく依存する。ここでは、現在使用可能な各種コンピュータの特徴を活用した超大量のデータ処理およびその管理・利用技術の例を紹介し、さらに素粒子反応の特徴をどのように大量データから有効に抽出するかについても述べる。また、このようにして得たデータは大変高価(!)であり、全世界レベルの共同利用に供されている。国際的コンピュータ・ネットワークを基盤としたその共同利用の実態の概要も紹介する。

4. 巨大加速器の集中制御管理技術

巨大加速器の集中制御管理技術の基本は、超高速粒子の加速を品質を落とさないうでリアルタイムに制御管理することである。ここで、品質とは、加速されている電子、陽電子、陽子、反陽子などの群(粒子束と呼ぶ)が、指定されたエネルギーまで加速されかつ粒子の運動方向に垂直な単位断面積当たりの数が多く一定していることである。いかに、巨大加速器をこの目標に合うように制御するか、その自動化の仕組みとシステム・インタフェースについて紹介する。

まず、「高エネルギー物理学実験でのデータ収集システムとデータ処理」では、我が国随一の規模を誇る高エネルギー物理学研究所の紹介に始まり、そこで昼夜を分かたず行われている電子と陽電子の超高エネルギーにおける衝突実験から得られるデータの収集システムとその処理についての概要が多数の写真とともに分かりやすく述べられている。ほぼ光速で放出される各種粒子の識別を行うために作成された特殊な検出器・測定器から送られてくるデータは、毎日 10 ギガバイトぐらいという実に膨

大な量であり、そのデータ処理にも専用の汎用大型コンピュータが用いられている。一方、このデータの共同利用を目指して、我が国におけるコンピュータ・ネットワークの先駆的利用もこの研究分野から始まり、現在では国内の学術情報網から米国 Lawrence Berkeley Laboratory のネットワークに接続している専用の HEPNet が日常の研究手段として定着している。

「スタンフォード線型電子・陽電子加速器制御」では、米国スタンフォード大学 SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) の有名な 2 マイル・マシン(線形加速器)に付加された 50 ギガ電子ボルトの線型電子・陽電子加速器 SLC (SLAC Linear Collider) の高度に洗練された複雑な全機構とそのコンピュータ制御技術について紹介している。もともと電子の加速器として原子核の電気密度分布を決めた有名な実験(ノーベル賞受賞)装置であったものを、高速に加速された電子流の一部を取り出し標的に当て陽電子を発生させ、その陽電子を上流に戻して再加速することにより、電子・陽電子衝突の世界一高精度な実験装置への転用に成功している。そもそも 2 マイル加速器の制御は 24 時間連続運転体制のコンピュータ制御による超絶的な技術を四半世紀前に確立しそれにより支えられているわけであるが、それを上回る微調整を行いながら実験を数カ月に行きわたるシステムである。実験条件を満足するための装置の調整だけに熟練技術者数十人が数日はかかるということからもその困難さが窺える。

今後この 2 編の紹介に引き続いて、他の主要な研究所から 2~3 カ所を選びこれらを相補する技術を随時紹介する予定である。1991 年 3 月に高エネルギー研究所で、また 1992 年 9 月ヨーロッパ CERN で開催された「高エネルギー物理学のためのコンピューティング」と題した国際会議では、上記のテーマに加えて、素粒子反応分析へのニューラルネットワークの応用、超大量データの管理技術、ネットワーク技術と性能評価、ソフトウェア工学などが議論になったのもこのような極限技術開発への必要性からであろう。今や新しい素粒子物理学の研究はコンピュータ・ハードウェアも含めた高度な情報処理技術の発展なしにはまったく考えられない時代になったとも言える。

最後に、読者に対してはページ数の制限により専門用語を十分に説明していないために理解が大変になるような所があると思いますがご容赦お願いいたします。また、ご多忙中にも関わらず執筆を引き受けてくださった高エネルギー物理学研究所の渡瀬芳行氏と東北大学大型計算機センターの長谷川勝夫氏に、ならびに閲読をいただいた方々に対して心から厚くお礼を申し上げます。

(平成 4 年 2 月 27 日)