

[P8-16]

Object-Oriented System Analysis for Accelerator Control

Hiroshi YOSHIKAWA, Hironao SAKAKI, Yasushi TERASHIMA, Yuichi ITOH
Accelerator Instrument Laboratory, Center for Neutron Science,
Japan Atomic Energy Research Institute.
319-1195, Tokaimura, Nakagun, Ibarakiken, JAPAN.

Abstract

Large scale accelerator has many kind of purpose for use, and the control system should be adapted to them. The Japan Hadron Facility project of KEK and the Neutron Science Project of JAERI has been combined last winter and we will construct the facility of proton accelerators, which must achieve not only pulsed operation with high peak current but also cw operation with high power beam for multi-purpose. Beam loss of proton beam leads high radio-activation, and how the accelerators are clean depends on the control system. But the mechanism of beam loss and beam halo are not completely investigated. The control system must have flexibility to modify the functionalities corresponding to new characteristics by commissioning.

加速器制御系のためのオブジェクト指向分析

1 はじめに

KEKと日本原子力研究所が共同のプロジェクトとして建設するプロトン加速器群は、400MeVの常伝導線形加速器とその後段に位置し1GeVまで加速する超伝導線形加速器、及び3GeVまで加速する複数台のブースタリング、50GeVのシンクロトロン等で構成され、中性子ビーム使用施設、核破砕消滅処理実験施設、ニュートリト出射用ステーションなどの様々な利用施設がその加速器を取り巻く。計画は1期と2期に分けられ予算の平準化をはかっている。加速器技術の観点から見ただけでも課題が多いが、施設の利用目的が多岐にわたることや、長期にわたり運転と建設及び調整や改造が平行して進められることを想定すると、制御系は完成したときに必要な機能の実現を考慮して設計するだけでは不十分で、メンテナンスのし易さや機能変更の柔軟性も極めて重要になる。

これまで、大型放射光施設の線形加速器制御系構築におけるシステム設計の考え方(1)、実際の制御システムの稼動状況(2)、大規模な改造に伴う制御システムの機能追加の実例(3)、などの報告を通じてオブジェクト指向プログラミング(OOP)による制御系構築の有用性を述べてきたが、本来OOPはOOA(Object-Oriented Analysis)に基づく「システムに必要な機能の的確な理解認識」と、OOD(Object-Oriented Design)による

「実現されるべきシステム構造の設計」があって初めて意味を持ちその利点が発揮されるものである。言い換えれば、OOPは単に制御用計算機のプログラミングの一手法にとどまるものではなく、システム全体の目的や運営方針にも関わる基本設計となるOOA/OODに基づいてOOPを適用しなければならないということである。

従来、類似する大型プロジェクトにおいては、制御系の設計製作は機器の設計製作の後手に回ってしまい、それぞれの機器間の機能や仕様の整合を取るための調整が主要な役割になってしまい、本来の機器監視制御のパフォーマンスを損なってしまうことになりがちである。それを避けるためにも、システム全体の基本設計とも言えるOOA/OODの作業を機器の製作に先行して行うべきであり、制御システムだけでなく各機器の可制御性の仕様についても提示し、機器設計に反映させなければならない。まだ、緒についたばかりであるが、プロジェクトの推進に役立つ、「加速器」という汎用性のあるモデルの構築を目指す。

2 OOA/OODの概要

オブジェクト指向の方法論は20年前に提唱され、既に数多の実績を持つが、プログラミングの表記というよりは、プログラミングを行う立場で、対象となる事象をどうとらえるのが適切かという抽象的な概念であ

るため、統一された表現方法というものがない。モデリングの考え方や、オブジェクトの構造と相互関係の表現手法の主なものとして、テキスト(解説書)とが出版されているものだけでも

- Object Oriented Design with Application (OODA) by Booch.
- Object Oriented Analysis and Object Oriented Design(OOA/OOD) by Coad & Yourdon.
- Object Oriented Analysis and Design(OOAD) by Martin & Odell.
- Object Modeling Technique(OMT) by Rumbaugh, et al.
- Object Oriented Systems Analysis(OOSA) by Shlaer & Mellor.
- Designing Object Oriented Software(DOOS) by Wirfsbrock, et al.

などがあり、いずれも重要な特徴を持つ。大型放射光施設線形加速器の制御系設計(特に通信プロセス)ではOMTを使用した。新しいプロジェクトの初期段階におけるシステム設計にはブーチ法やコード・ヨードン法が適するであろう。これらの違いは、主にオブジェクトの動特性に関する部分にあり、オブジェクト間の関連付け(の変化)として表現するか、「機能」としてオブジェクトの属性に含めて(あるいは機能オブジェクトとして)表現するかなどの点にある。また、クラスとオブジェクトの関係を別のテキストではオブジェクトとインスタンスと表現するなど混同させる言葉の不統一も多い。ここでは特に表記の方法を特定せず、オブジェクト:[属性1、属性2、属性3、...]という表記を用い、属性の記述と定義域はそのまま文章で示すことにする。

オブジェクト指向とは、扱おうとする事象の複雑さを管理するための手法であり、着眼点をシーケンスからデータに換えて事象をとらえる考え方である。オブジェクトとは、階層構造を持つ対象システムの単位事象であり、現実の具象の持つ特質の中から共通の特質を抽出した「もの」を指す。簡単な例を用いて説明していくが、本来複雑さを持つ対象を抽象化することで利点が得られるものを、簡単な例に適用して説明した場合、直感的には利点が感じられなくなってしまうことに注意されたい。

3 システムの静的モデル

OOAは、まずシステムの構成要素を思いつくままにオブジェクトとし、そのオブジェクトに必要な機能と、他のオブジェクトとの関連を記述するための属性を上げていき、その属性が識別子になっているか、他の属性に対して従属かどうか、などを調べて属性やオブジェクトそのものの適正を検討する。そのなかで、オブジェクト相互の関連が1対1か1対多か、なども検討し、複数のオブジェクトに共通の属性を持つスーパークラス・オブジェクトを抽出することで情報の整理と全体の理解を促す。

大型放射光施設線形加速器の制御系では、マシンモデルというスーパークラスを抽出した。これは、文献(3)に示したように、マシン:[いまの状態、あるべき状態、発生事象]という極限まで抽象化されたオブジェクトである。このオブジェクトは「線形加速器を構成するすべての機器を監視操作せよ」という問題を設定したことによって導出されたものであり、加速器に特化されたものではないので、すべての制御系に適用できる。しかし、「状態」の定義域が機器の種類によって大きく違ったり、「状態」の階層構造が求められたりすると、現実の実装段階で利点が損なわれ煩雑なプログラムになってしまう。つまり、目的を機器の監視操作に絞ったことと、すべての機器があまり複雑な状態遷移を持たないということとを予め理解していたためにマシンモデルが有効であったといえる。

では、大規模な加速器の制御を想定して「粒子ビームの軌道、電流、エネルギーを制御せよ」という問題を設定した場合にはどのようなモデルが抽出されるであろうか。例えば、粒子ビームという主オブジェクトに対して作用する電磁場というオブジェクトが定義され、そのサブクラスとして二極磁場、四極磁場、六極磁場が作られ、それぞれの固有の属性としてBL積や磁場勾配が与えられる。磁石の電源は別のオブジェクトとして定義され、複数磁石の直列接続や極性切り替え等を示す相関関係表による関係オブジェクトが別途定義されることになり、その関連オブジェクトによって電源と磁場が関連付けたほうがよい。このようなケースの場合、マシンモデルで扱ったような現実の機器の動作状態などは完全に隠蔽され、磁場オブジェクトの属性である「磁場強度の定義域の変化」という形で表現されることになる。結果、オブジェクト構成とプログラムはマシンモデルよりも非常に深い階層構造を持つことになり、OOP言語を使わずには実現できない

ものとなる。

さらに、「加速器群を包含する施設全体を円滑に運転せよ」といった問題を設定すると、実験の目的や運転スケジュール、ビーム供給振分のポリシなど、プロジェクトの根幹に関わる基本方針と関わることなしには設計を進められない。当然のことながら、長期のプロジェクトにおいてそれらが予め初期の段階で確定していることなどありえないが、大まかな方針は与えられていなければ必要な属性を与えることができず、相互関連を定義できなくなる。

現実的な範囲で可能な限り OOAD を活かして、システムの柔軟性を確保するためには、実験設備と加速器は分離して、加速器間のビームと運転時間の取り合いに関して基本方針を初期に決めておく。そして、加速器群を施設のサービス提供側、実験設備をサービス享受側として別にシステム構築するのが適当と思われる。

4 ビーム制御と動的モデル

前項で述べた、ビームに主眼を置いたモデルを採用する場合、モニタなどから得られるビームの状態に対して、オフラインでの計算によって電磁場発生機器の設定値を更新するだけであれば、マシンモデルで構築されたシステムと機能的に差異はない。新たな設定値を算出するためのデータベースをオブジェクト指向で構築し、モニタ値によるイタレーションで設定誤差を求め、収束の度合いで外乱変動を評価することになる。これに対し、ビームの状態だけでなく、周辺設備を含めた構成機器の状態もリアルタイムでモニタし、ビーム安定化のために変動要因をフィードバックによって抑制することを計るならば、ビームオブジェクトと機器オブジェクトが、信号処理等によって導出される伝達関数で関連付けされなければならない。固有の加速器に特化して考えるのであれば、特に影響の大きい因子を持つ機器に関してのみ、ビームとの関連属性を定義することもできるが、初期においてその影響度は予測できるものではないので、一般化した関連属性を取り込んでおく必要がある。実効的な処理速度を確保するためには、シミュレーションよりも、トレンドを含めたデータから導出されるシステムモデルのほうが有効である。ビームと構成機器（とそれが生成する電磁場）との関連を解析的に定義しても実際との誤差分を単なるノイズとして組み込んだのでは有効な制御機能を得ることができない。

基本的に加速器の構成要素である機器の動作はシンプルであり、機器の監視操作という観点ではかなり単純なシステムに属する。規模が大きく、休止している磁石や電源、あるいはイオンポンプなど補機類の接続変更や取り付け位置変更にも対応できるシステムにするとしても、関連属性を条件付きの多対多関係のモデルにしておくことで対応できる。

5 まとめ

システム設計の初期検討として、オブジェクト指向方法論の比較検討を行った。システム全体の機能分析的確に行うには「加速器」を問題範囲とするのが、適当であると判断した。「ビーム」を一つのオブジェクトとして持つか否か、データ処理をオフラインで行うデータベース型のシステムとするか、それとも実時間制のある自動制御が可能なシステムとするか、の2点が構築する制御システムの規模を大きく左右するポイントであることがわかった。

今後引き続き検討を進め、自動制御が可能なシステム構築の可能性を探る。

6 参考文献

- (1) H.Yoshikawa, et al. "Control of SPring-8 Injector Linac", Proceedings of The 20th Linear Accelerator Meetings in Japan. 1995
- (2) H.Yoshikawa, et al."Present Status of SPring-8", Proceedings of the 22nd Linear Accelerator Meetings in Japan. 1997
- (3) H.Yoshikawa, et al."Flexibility of Control Processes by OOP Methodology", Proceedings of the 23rd Linear Accelerator Meetings in Japan. 1998