

# CONCEPTUAL STUDY ON THE SUPPORT SYSTEM FOR BEAM TRANSPORT

Masayoshi Sugimoto

Department of Physics, Japan Atomic Energy Research Institute

Tokai-mura, Naga-gun, Ibaraki 319-11, Japan

## ABSTRACT

The stable operation of the accelerator system is the key issue to use the Free Electron Laser as a useful light source. It is necessary to control the accelerator components by using the beam dynamics models in addition to the hardware stabilization of each component. The concept of the support system to analyze and diagnose the beam in the transport line is discussed.

## ビーム輸送支援システムの概念検討

### 1. はじめに

原研物理部では赤外領域の自由電子レーザー (FEL) 装置を開発中であり、将来の応用に耐えるレーザー装置として必要な技術開発を進めている。FELの特徴である波長選択性を生かすには安定した発振の維持が重要である。そのためには不安定要素となる各ハードウェア個々の安定化と同時にそれらを総合して現状を判断し、異常等の発生を未然に予測、回避できるようにしておく必要がある。一般にこのような目的には知識工学的手法が適しており、知識ベースをもとにした推論・判断が可能な支援システムの構築が有効と考えられる。

とくに原研FEL装置におけるビーム輸送の問題に焦点を絞ってこのような支援システムの概念と制御系における位置付けの検討結果を報告する。

### 2. 基本方針

支援システムの構築の前に選択すべき事項がいくつかあり、ターゲットとすべき制御対象・開発コスト等によって方針が異なってくる。ここでは以下のような選択を行った。

・知識表現としてフレームを基本とするObject Oriented形式を採用する。

エキスパートシステムでよく使用されるルールベースによる表現はビーム制御のように類似重複した要素の多い系では煩雑になり取扱いが面倒である。その点、クラスによる抽象化・階層化、インヘリタンスによる属性の継承を用い拡張性の高い単純な知識構造にできる。

・コスト性能比を考慮しパーソナルコンピュータをターゲットとする。

原研FEL制御系はパーソナルコンピュータがベースとなっており、この環境の下で十分に耐える支援システムを構成する必要がある。

・開発用言語としてPrologを使用する。

(ただし必要に応じ他の言語 (C、Pascal) とのリンクを考慮する。)

この場合直接にPrologでインプリメントしていくことはせず、まずクラス構造とメソッドのだけを記述するような表現形式で表記する (クラス記述言語)。これをPrologに翻訳したもの

に手を加えて最適化して実用システムとする。

### 3. 支援システム の 概念

#### ・ 知識表現

オブジェクトとしてビームライン要素を考える。そのスロット属性としては、物理的形狀・電磁氣的性質（ビームダイナミクス特性、ビーム輸送行列）・熱的特性・核的特性（耐放射線）等がある。属性には静的な情報（寸法、材質等）と動的な情報（電流、温度等）とがある。後者は必要に応じて観測値や計算値を用いてリフレッシュされる。

インヘリタンスを記述する構造はサーチの効率化のために別のデータベースとする。

主要なメソッドとしては、オブジェクトの生成・消滅、スロット値の追加や変更、ビーム・マトリクスの変換、ビーム・マッチング等を用意する。

後述する知識の蓄積を定量的に行うには知識の不確定さを取り入れておく必要がある。その方法として、

- (a) 確率論的なアプローチによりベイズ推定等を用いて評価する。
- (b) 主観的な評価しか与えられない場合はその上下界を与えるようにする。
- (c) fuzzy 論理の適用がよい場合もある。

を考慮する。

#### ・ 実装方法

現在、制御系のためのビームシミュレーション計算を行うコードを開発中であり、支援システムの計算アルゴリズムの部分はそのコードを利用する。また推論・判断の部分(inference engine)はPrologで極めて容易に製作できる。知識ベースの部分は先に述べたクラス記述言語で明快に記述することが可能である。実装対象がパーソナルコンピュータなので知識ベースを無制限に拡大することは得策ではない。特定の知識がどの知識領域（限定知識ベース）にあるかを表現するもの（メタ知識ベース）が必要である。

#### ・ 利用形態

支援システムの利用の形態としていくつかの場合が考えられる。基本的にはSIMULATIONとDIAGNOSISの2形態があり、その他にそれらを複合してより高度な利用に共することもできる。システムへの入出力関係を図示すると次のようになる

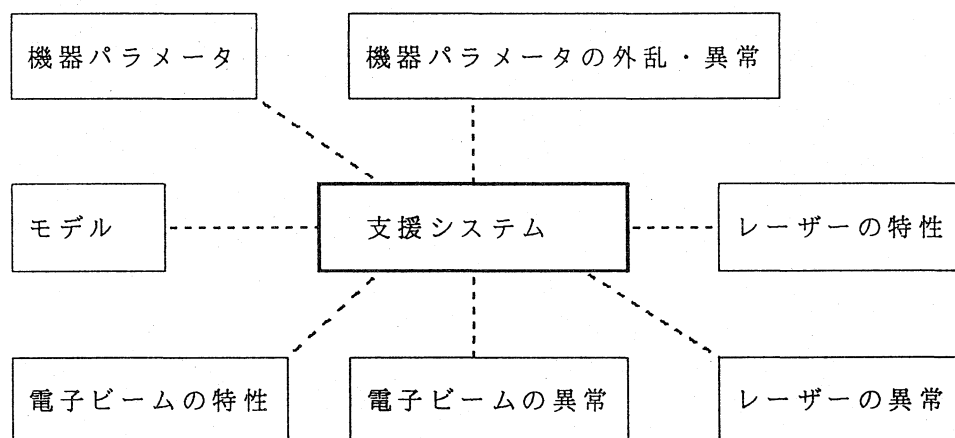


図1 ビーム輸送支援システムの入出力関係

(1) シミュレータとしての利用

モデルとパラメータ初期値およびその擾乱を入力として与え、どのような電子ビーム特性、レーザー特性およびそれらの異常が出力として得られるかを調べる。この方法を仮想的な機器を設けて実行するとその機器の設計上の問題点が抽出できる。

(2) 異常診断への利用

モデル、電子ビーム特性、レーザー特性、それらの異常（観測結果）を入力として与え、出力として機器パラメータの異常（原因）を推定する。

(3) 知識の蓄積

矛盾のあるモデルや不十分な知識のもとではシミュレーションによって得られた結果と実際の観測結果が異なる。またある異常が観測されてもその原因を特定化できないことがある。このような場合にどの知識が問題かを調べることができる。

4. 今後の方針

FELの構成要素としてはビーム輸送部以外に入射系、超電導加速部、アンジュレータ部、光共振器部があり、それぞれ安定化制御が必要である。最も重要な点は各部分について、単純で有効なモデルをつくることであり、今後の機器開発に伴って得られる経験・知識を上手く表現する方法を開発していく必要がある。FEL装置をひとつのプロセス装置と考え、全系を記述した例を図2に示す。

JAERI-FEL

```
machine-conditioning-process
machine-startup-process
beam-injection-process
beam-acceleration-process
beam-transport-process          <--- current target
  beam-matching-to-achromatic-bends
  beam-transport-in-achromatic-bends
    bending-magnet-1
      magnetic-field
        if-changed-modify-R-matrix
        current
      ...
    bending-magnet-2
  ...
  beam-matching-to-undulator
  beam-transport-in-undulator
  beam-transport-to-dump
  ...
laser-oscillation-process
laser-measurement-process
...
```

図2 FELプロセス記述の例