

タスク分析に基づくインタフェース高度化手法の 実験用加速器への応用

第二報：プロトタイプインタフェースの作成

Application of task analysis method for MMI improvement to experimental accelerator facility

○倉持嘉徳, 高橋信, 松山成男, 藤沢政則, 北村正晴
○Kuramochi Yoshinori, Takahashi Makoto, Matsuyama Shigeo,
Fujisawa Masanori, Kitamura Masaharu

東北大学
Tohoku University

キーワード：タスク分析(task analysis), マンマシンインタフェース(man-machine interface),
実験用加速器(experimental accelerator)

連絡先：〒980-8579 宮城県仙台市青葉区字青葉01 東北大学 工学部 量子エネルギー工学科
核エネルギーシステム安全工学講座 北村研究室 倉持嘉徳
Tel&Fax:022(217)7907, E-mail:mochi@luke.qse.tohoku.ac.jp

1. 背景

大規模システムにおけるインタフェースの重要性は、安全性の確保のためだけではなく、より効率的なシステムの運用を実現するためにも着目すべき側面である。本研究では、タスク分析に基づくインタフェース高度化の手法を、実験用の加速器に適用し研究を行っている。第一報[1]では、実際の加速器の運転の内容を詳細に解析し、熟練度による操作の流れの相違や、熟練運転員の操作の流れの規範的なモデルを作成した結果に関して述べた。そして、このタスク分析の結果に基づき、加速器インタフェースに関して以下のような指針を得た。

- (1) パラメータの統合的な表示の重要性
- (2) 熟練運転員の操作モデルに基づく支援の提供
- (3) PCによるログの収集及びデータベースの構築
- (4) 多変数最適化問題の視覚的な支援

本報告では、これらの指針に基づき開発を行っているプロトタイプインタフェースと加速器システムへの実装の現状について述べる。

2. インタフェース設計指針

2.1 Adaptable Interface Design

本研究で対象にしている加速器システムにおいて想定されるユーザは、運転に慣れていない初心者から、長年の経験を通じて慣れきっている熟練者に渡る広い幅を持っている。そのため、特定の熟練度のレベルを想定してインタフェースを設計することはできない。

このように、スキルのレベルが広く分布するユーザに対応させるためのインタフェースを実現する方法としては、以下のような考え方がこれまで提唱されている。

・許容度の大きいインタフェース設計

熟練度を問わず、同程度に使いやすい許容度の大きいインタフェースを目指す考え方であり、車のインタフェースがその典型であろう。このタイプのインタフェースの問題点としては、平均的なユーザを仮定するために、平均的に良いインタフェースとなってしまっている点であり、不満を持つユーザは少なくない場合が多い。

・適応型インタフェース

システムがユーザの熟練度を動的に推定し、それに併せてインタフェースの表示内容や操作方法を動的に変更するインタフェースの考え方である。実現できれば魅力的な枠組みであるが、熟練度の動的な推定は困難な課題であるし、動的な適応が引き起こすユーザの混乱という要素も十分に検討する必要がある。[2]

これに対して、本研究では、ユーザが主体となってインタフェースの構成を選択できる適応許容型インタフェース(Adaptable Interface)の考え方を導入する。適応許容型インタフェースでは、ユーザに初期段階で出来るだけ多くの選択肢を提供し、ある程度インタフェース構成に関する選択の自由を許す枠組みである。単に、選択肢を増やすだけでは選択のための認知的な負荷が増大するだけで、悪影響のみが現れる怖れがあるが、次のような方針を導入することで、ユーザによる選択が全体としてのパフォーマンスの向上につながると考える。

(1) 選択肢の進化的な淘汰

どのユーザにも選ばれないようなオプションは随時淘汰し、少しでも選択肢を減らす。

(2) 初心者への選択肢の制限

初心者は、選択をするのに必要な経験も知識もない状態である。そのような初心者に選択肢を与えても、混乱を招くだけであろう。従って、初心者には、ある程度の熟練度に達するまで、選択肢を制限する。

(3) 選択を支援するシミュレーションの実現

実際の運転場面において、その場で適切なインタフェースを選択すること現実的な問題として不可能である。シミュレーションに基づく訓練を行うことで、事前に自分はどのタイプのインタフェースを利用すべきなのかという感触を与え、それを予め自分の好みのパターンとして保持しておくような枠組みが望まれる。

以上の方針は、完全な形では現状のプロトタイプシステムには反映されていないが、今後の実用化に向けて適応許容型の枠組みを更に検討していく予定である。

2.2 インタフェース仕様

前述の指針に基づき、本研究で構築するインタフェースは、以下のような仕様とした。

(1) Overview画面と各コンポーネント画面の階層構造とする

本インタフェースは、システム全体の状態把握に有効と考えられるOverview画面と、各コンポーネント毎の画面の大きく二つの階層により構成するOverview画面は常に固定的な表示を行い、どのような局面においてもそれを参照することで最低限必要な情報は得られるような構成とする。Overview画面では、ユーザが容易に状態の把握が可能ないように、システムのみミック図に対応した形でパラメータを表示するものとする。

また、本インタフェースは、将来的にはそれ単体でビーム輸送に関する全ての操作を行えるようにする予定であるが、現状では制御部分がハードウェアの制約上実装できないため、既存の制御盤と共存する形態とならざるを得ない。提示する必要がある情報量と、表示盤設置場所のトレードオフから、二画面による表示を基本とすることとした。設置場所の制約に関しては液晶の表示パネルを利用することで、既存の制御盤と共存がはかれると考えている。

(2) 一つのパラメータに関して最低二つ以上の表示の方法を提供する

数値の表示方法には多くの方法が考えられるが、ここではAdaptableインタフェースデザインの考え方を導入し、複数の表示方法から選択可能なようにする。

(3) ユーザには一つの操作を行う場合最低二つ以上の方法を提供する

操作方法に関しても、複数の操作の手段を提供し、そこからユーザが自分の熟練度とシステムの状態に応じて選択できるようにする。

(4) システムログの収集及びデータベース化機能

前報のユーザの観察から、ビーム輸送パラメータの設定の第一段階は、運転条件の類似している過去のログデータを探して、そのパラメータを初期値として設定するという手順であるということが明らかになった。従来はログはユーザが手作業でログブックに記録していたが、この方法では誤

りが生じやすく、そのデータを読んで設定する段階でも誤りが生じやすかった。今回のインタフェース改善に伴い、ログに記録されているパラメータの多くを計算機に取り込みデータベースとして記録することは容易なこととなったため、本インタフェースではログの収集及び呼び出しを簡単に行えるように、ログの記録をデータベース化する機能を導入した。これにより、これまで手作業で行ってきたログの記録及び呼び出しが瞬時に行えるようになり、大幅な省力化が実現できると考えられる。

(5) 多変数最適化問題の視覚的な支援機能

ビーム輸送系のパラメータの調整は、与えられた制約条件の元で、目的とするターゲット電流を最大化するという、多変数の最適化問題と捉えることができる。前報において報告した熟練者の操作にも見られるように、運転員は漸化的にこの問題を解いている。熟練者は、操作パラメータを少しずつ動かしながら、それが目標とするターゲット電流値にどのように影響するかを観察している。ここで可制御パラメータの数は10個以上あるが、タスク分析の結果から、運転者が同時に動かすことのできるパラメータ数は高々2個程度であることが判っている。本研究では、運転者のこの繰り返しによる最適化の過程を視覚的に支援する機能を提供することを目指している。この機能は、シングルパラメータ調整モードとダブルパラメータ調整モードの二つから構成される。

○シングルパラメータ調整モード

このモードでは、可制御のパラメータを一つづつ現在値を中心に動かし、それが目標パラメータにどのように影響するかを示すモードである。この機能より運転者はどのパラメータを動かすことが最もビームの電流値を増やすために有効であるかを、一目で把握することが出来る。更に、各パラメータ値をグラフの下に配置したスライドバーで変更することで直感的な操作が行えるように工夫している。

○ダブルパラメータ調整モード

多変数の最適化問題では、関連する変数の関係が線形でない場合も考えられるために、上記のシングルパラメータ調整モードだけでは、十分最適な組み合わせに近づけない可能性もある。それを

補うために、二次元平面上でパラメータを動かし、更にそれぞれの座標における目標ビーム電流値を視覚的に表示する機能を準備する必要があると考えた。この機能をダブルパラメータ調整モードと呼ぶ。運転者が重要と考える二つのパラメータの組を指定することで、その二つのパラメータを同時に操作することが可能となる。この操作の形態は、従来の制御盤における運転において、二つの調整つまみを同時に動かしてビーム電流を最適化するという熟練者の行動を模擬する形態のインタフェースと考えることが出来る。

3. プロトタイプインタフェース

3.1 ソフトウェア環境

本システムにおいては、Adaptableなインタフェースを実現することを目指しており、そのためにはインタフェースの形態を自由に変更できる環境が必要となる。在来型のC++等を利用したプログラミングでは、画面の再構成のためのプログラミングの労力が大きくなる可能性があるために、本研究では、計測制御用グラフィカルプログラミング環境であるLabVIEW 5.0 (National Instruments Co. Ltd.)を利用することとした。LabVIEWはデータの集録、制御、解析、表示を行なうためのグラフィカルプログラミングシステムで、仮想計測器(VI)というソフトウェアモジュールを、グラフィカルな方法で組み立てる方法論が採用されている。LabVIEWを利用することで、次のようなメリットが得られる。

- (1) データ入出力部分のプログラミングが不要
- (2) 視覚的なプログラミングによりデータの流れの把握が容易
- (3) 様々な表示器・操作器があらかじめ準備されておりそれらを自由に組み合わせて利用可能
- (4) 機能単位でのモジュール化が可能

3.2 ハードウェア環境

既存の加速器システムの制御盤に改造を加え、関連するデータを計算機上に取り込む環境を整えた。現時点では、電源のハードウェアが計算機からの制御に対応していないために、LabVIEW側からの制御行為は行うことはできない状態であるが、近い将来実現する予定である。図1に、現時点でのハードウェアの構成を示す。

既存の制御盤の表示器からの信号を0~10V変換するハードウェアを新たに増設し、その出力をAD

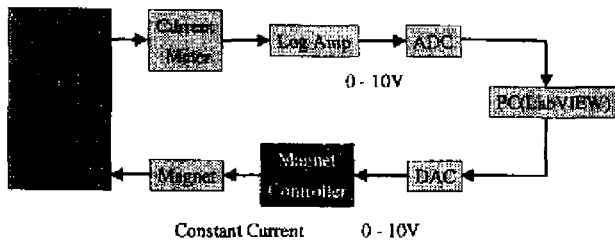


Fig.1 Hardware Configuration

変換ボード (National Instruments AT-MIO-64E-3 :64-Single-ended, 32-differential/500KHz/12Bit)を通じて計算機上に取り込むようになっている。

3.3 構築したプロトタイプインタフェース

本節では、構築したプロトタイプインタフェースの内容について述べる。現時点では本システムは加速器システムとは直接接続されておらず、データの取り込みも制御操作も行える状態ではない。しかしながら、事前にインタフェースの評価を行う必要があるために、ビームの輸送系のシミュレータをLabVIEW上に構築し、模擬的な入出力に対するシステムの挙動を再現できるようにしている。

図2にOverview部分のディスプレイの表示例を示す。

Overview Displayでは、運転上重要なパラメータをビームの上流から順に表示し、それぞれのパラメータをアナログメータとデジタルメータの両方の形態で表示している。更に、これらのパラメータの中で特に着目したいパラメータを選択し、そのトレンドを表示することができる。

また、メインのコントロールパネルはスライダー、デジタルパネルメータのどちらでも操作可能であり、デジタルパネルメータは数値をキーボードから直接入力することも可能であるが上下のボタンをクリックすることにより値を微妙に増減することもできる。これも表示器と同様に上流から順に配置している。

システムログの収集及びデータベース化機能は、このOverview Displayからアクセスできるようになっている。この機能は特定の時点での全てのパラメータを一括してファイルに書き込み、それをデータベースとして蓄積することで、類似の条件で運転を行う場合の初期値の設定を支援する機能である。本システムでは、LabVIEW からMicrosoft EXCEL形式のデータを書き出し、EXCELのデータとしてデータベースを構築することとした。これにより、データの保持・管理・検索は、強力かつ広範囲の分野で利用されているEXCELの機能を利用できるというメリットがある。Windows環境では、LabVIEWからEXCELを呼び出す形式で利用

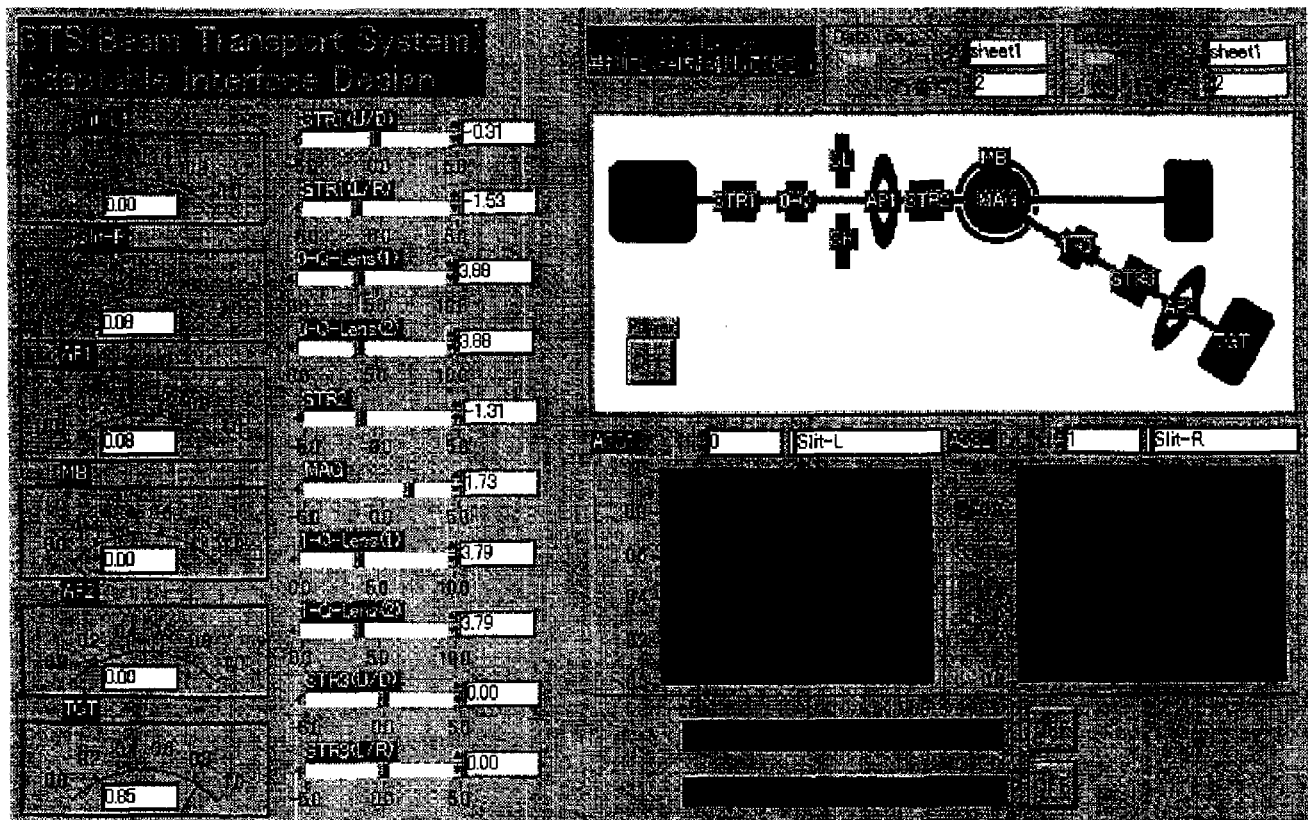


Fig.2 Overview Display

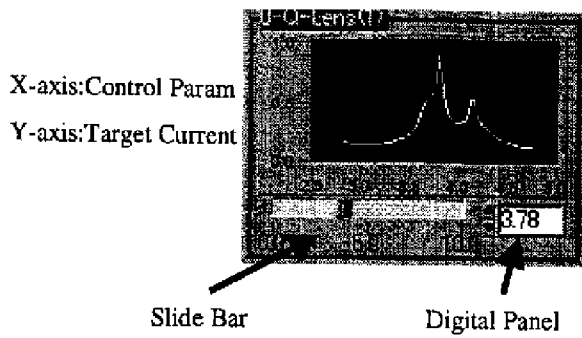


Fig.3 Single Parameter Control Mode (1)

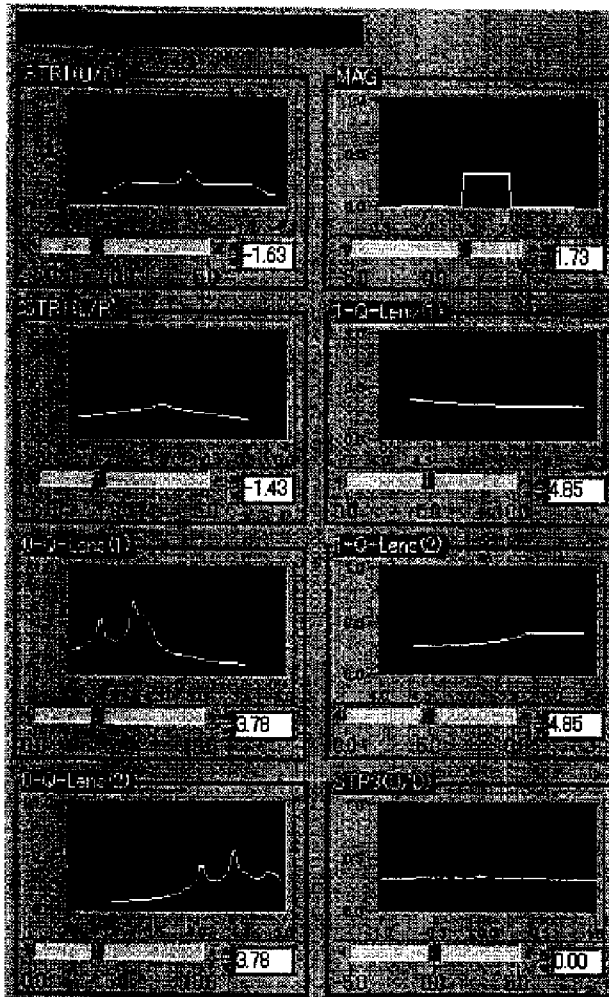


Fig.4 Single Parameter Control Mode (2)

することができるので、LabVIEW上で検索条件を指定し検索をEXCELに命令し、検索結果のパラメータセットを呼び出して、それを制御パラメータとして一括してセットすることが可能となる。

本システムは複数の研究グループで利用されることとなるために、このデータベースの管理の方法にも十分注意を払う必要がある。データベースの管理は、ユーザもしくは実験グループ単位での自己管理を原則とする予定である。様々な実験条件によってビームの調整法が異なるためと、他人のデータを破損する等のトラブルを防ぐためであ

る。更に、万が一に備え、共通のバックアップデータベースを管理者が保有する形態としている。

次に多変数最適化問題の視覚的な支援機能について述べる。図3, 4にシングルパラメータ調整モードの表示例を示す。

あるパラメータに対して、現在の値を中心にしてプラスマイナス双方向に少しずつ値を変化させた時のターゲットカレントの変化を見るという挙動は、熟練運転員に共通して観察されている。運転者は通常、どの制御器を操作すべきか表示情報だけからでは明らかではないような場合、このような操作を行うをことで、トライアンドエラー的に動かすべきパラメータとその方向を見出している。シングルパラメータ調整モードはこの運転員の行動を支援する機能であり、システム側が全ての可制御パラメータについて自動的に行い、ターゲット電流のレスポンスを視覚的に表示する。例えば、図3においてはSTR1やI-Q-Lensを操作するよりはI-Q-Lensを操作したほうが、暫定的ではあるがターゲット電流を増加させることができることが人目で判る訳である。このパネルにもスライドバーとデジタルパネルメータを配置し、リアルタイムで変化する情報を見ながら操作することができるようにしている。

次にダブルパラメータ調整モードについて説明する。図5にダブルパラメータ調整モードの表示例を示す。ダブルパラメータ調整モードは前述のように、密接に関連する二つのパラメータを同時に動かす熟練者の挙動をインタフェースとして支援する機能である。運転員は2つのパラメータを段階的に動かして、ターゲットカレントの分布を頭の中で再構成しビームの最適化を行っている。ダブルパラメータ調整モードは、このような熟練運転員の操作を支援すること目的としており、二つのパラメータの組を二次元平面上の点で表し、そのパラメータの組に対応するターゲット電流値を色の濃淡で表現している。運転員は、この濃淡の情報を参考にしながら、二次元平面上のカーソルを動かすことで、より適切なパラメータ設定を行うことが可能になる。

シングルパラメータ調整モードに関しても、ダブルパラメータ調整モードに関しても同様である

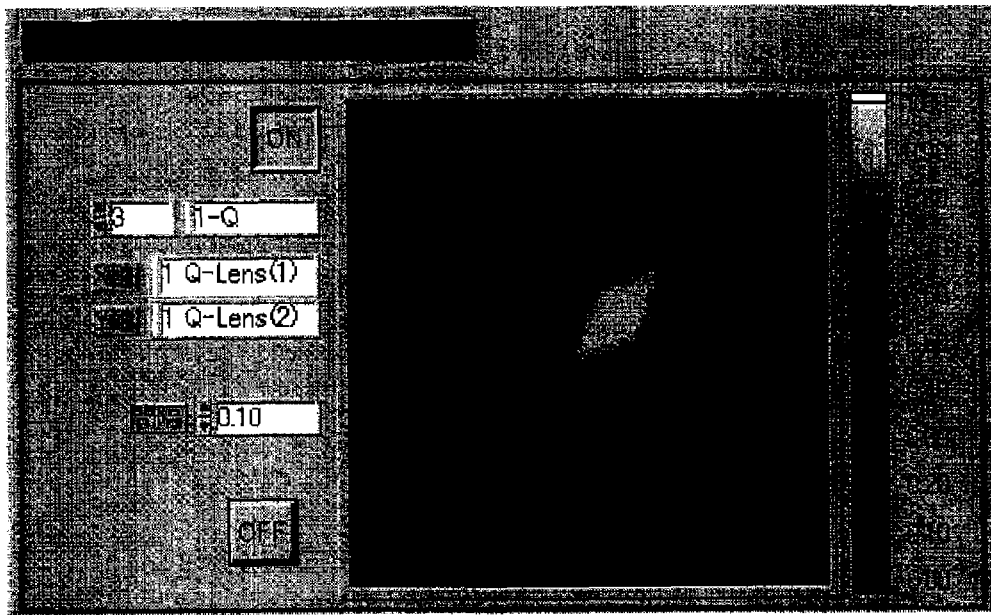


Fig.5 Double Parameter Control Mode

が、パラメータを動かした時のターゲットビーム電流値は、実際には制御量を動かして計測する必要がる。制御量を動かした時のレスポンス時間が多少あるために、評価すべきパラメータの組の数が増える毎に、図のような評価のための情報を得るにはある程度の時間が必要になる。この時間に関しては今後実機でのテストを通じて調整していく必要があるが、最初はより粗く全体の挙動を示して、段階的に調整していくような方法や、ユーザ主導で探索空間を効率的に狭めていくような方法も必要なのではないかと考えている。

現時点においては、本プロトタイプインタフェースを利用した実際の運転を行う段階までには至っていないが、構築したプロトタイプインタフェースを、熟練運転員に評価してもらった結果、極めて肯定的な評価を得ることができた。今年度中には、実際の運用を開始し、現実的状况においてのシステムの評価を行う予定である。

4. 結論

本報告では、実験用加速器の運転に関するタスク分析の結果得られた指針に基づき開発を行っているプロトタイプインタフェースと加速器システムへの実装の現状について述べた。Adaptableなインタフェースという基本方針に基づき、LabVIEWを利用し作成したプロトタイプインタフェースは、熟練運転者から高い評価を得ることができた。今後は、実際の運用を通じて本システムの有効性の

検証を行い、更に統合的な制御の実現へ向けて研究を続けている予定である。

本研究は文部省科学研究費補助金奨励研究(A) 10750179による援助を受けていることを付記する。

参考文献

- [1]倉持嘉徳, 高橋信, 松山成男, 藤沢正則, 北村正晴:タスク分析に基づくインタフェース高度化手法の実験用加速器への応用. 第一報. タスク分析に基づくインタフェースの必要条件の抽出, 計測自動制御学会東北支部, 資料番号 177-16(1998)
- [2]Takahashi, M. et. al., Mutual Adaptive Interface:Basic Concept, Proc. of 2nd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication; RO-MAN' 93(1993).