

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

第三報 : User Requirements に基づくインタフェース機能適合化

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

○西川 雅章 倉持 嘉徳 高橋 信
松山 成男 藤澤 政則 北村 正晴

○Masaaki Nishikawa, Yoshinori Kuramochi, Makoto Takahashi
Shigeo Matsuyama, Masanori Fujisawa, Masaharu Kitamura

東北大学

Tohoku University

キーワード: インタフェースデザイン(interface design), タスク分析(cognitive task analysis),
ユーザ要求(user requirement), 加速器システム(accelerator system)

連絡先: 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01 東北大学大学院 工学研究科 量子エネルギー工学専攻
核エネルギーシステム安全工学講座 北村研究室 西川雅章
Tel&Fax:022(217)7907, E-mail:nishi@luke.qse.tohoku.ac.jp

1. 背景

大規模システムのユーザインタフェースの設計の問題は、日常的機器のユーザインタフェースの場合と比較して、複雑性という観点においてその困難さの度合いが大きい。複雑性自体は様々な側面から定義されるが、例えば、時定数の多様性、相互干渉の複雑さ、状態の不確定さ、そしてリスクの多様性とその大きさなどが、複雑さの構成要因として考えられる。^[1] 本研究グループでは、このような対象システムの複雑さの低減を目的として、ユーザ指向という基本コンセプトのもとにインタフェースの設計、評価に関する研究を行っており、原子力プラントを対象にしてその有効性の検討を行っている。本研究では、このユーザ指向のインタフェース設計研究のもう一つの側面として、ユーザ認知行動モデルと要求仕様に基づく機能の適合化という観点からの検討を行った。

2. インタフェースの機能適合化手法

本研究におけるインタフェースの機能適合化手法では、実際の作業遂行モードのユーザ認知行動モデルとしてのモデル化と、それぞれの作業遂行モードにおける要求仕様の明確化、という二つの内容から構成される。ユーザ認知行動モデルは、実際のユーザの作業遂行時の行動の観察を通じて構成される。熟練者と初心者では操作時における挙動に大きな違いが見られる場合が多いが、本研究では、熟練者の行動を規範的な認知行動モデルとし、この

モデルからインタフェースの具備すべき要件を抽出する。この段階で得られるインタフェースの要件は観察ベースでの要件であるために、実際のユーザの主観的要求事項は考慮されていない。本研究では、最初にこの基本的な要求事項を満たすインタフェースプロトタイプを準備し、それを実環境下で利用していく中で、最初のモデルでは考慮されていない要求仕様を抽出し、進化的にインタフェースを改善していくという枠組みを提唱する。この過程をインタフェースの機能適合化と呼び、ある程度の個人毎の要求仕様の違いも許容している点に特徴がある。このような手法の概念的な検討は容易であるが、現場レベルでの応用は様々な困難を伴う場合が多い。本研究では複雑システムの一例として次章に述べる実験用加速器システムを対象にして、このインタフェースの機能適合化手法を実際に応用し、現場の協力を得ながらインタフェースの改善を行った。

3. 対象システムのインタフェースの現状

本研究で対象とするのは、東北大学の研究施設である高速中性子実験室 (Fast Neutron Laboratory: 以下 FNL) 内の実験用加速器システムである。FNLは最高電圧4.5MVのダイナミトロン加速器を備え、主に学生を中心とした大学関係者によって中性子実験やイオンビーム照射実験に活用されている。

3.1 対象システム概要

加速器システムで、本研究で主に対象とするビーム輸送

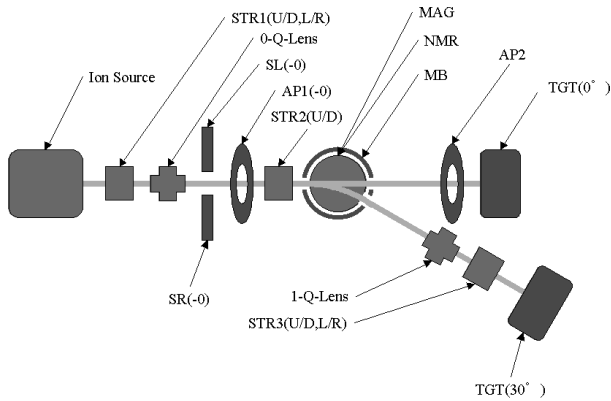


図 1 BTS (ビーム輸送系)
Fig. 1 BTS (Beam Transport System).

系(BTS)の概略図を図1に示す。この加速器システムは、上流側の加速器本体部においてイオン発生装置で発生させた粒子を高圧電場で加速させ、それを下流側の適切なターゲットまでビーム輸送系 (Beam Transport System: 以下BTS)を用いて輸送するという簡単な構図で説明することができる。イオンの発生に関しては、起動からイオン発生までの手順がシーケンスとして比較的明確に定義されているために、操作上の熟練を要する要素は比較的少ない。これに対して、加速された粒子を、所定のターゲットまで導くビーム輸送は、多くの制御パラメータを並行して調整する必要があり、さらに上流のパラメータ変更が下流に影響を与えるという因果関係があるために、その操作にはかなりの熟練が必要とされる。

3.2 ビーム輸送系 (BTS)

BTSは主に、偏向磁界によってビームを屈折・収束させる制御器 (STR・Q-Lens・MAG) と、そこに当たったビーム電流値のみを表示する情報獲得用計測器 (Slit・AP・MB・TGT) によって構成されている。加速器を出たビームは、STR1により進行方向の微小角度を調整され、0-Q-Lensにより収束される。SL/SR、AP1に当たらずに通抜けしたビームは、STR2で上下方向を調整した後、Magで各Portへと曲げられる。この時、Portへと適切に通抜けないとMBに当たることになる。MBを通り抜け1-Q-Lensによって再度収束されたビームはSTR3で調整されTGTに到達する。ここに十分なビームを通す事がユーザの目標である。

3.3 インタフェースの問題点

対象加速器システムのBTS部の従来のインタフェースを図2に示す。熟練度の高いユーザはこのインタフェースによりBTS系の制御を問題なく行ってはいるが、熟練するのに要する時間が長く、以下のような問題点が指摘されている^[2]。

- (1) 制御及び情報獲得に関連するパラメータはすべて表示されているが、統合的な表示が無く、オペレータは対象のビームの状態を自分で再構成しなければならない。
- (2) 同じ条件での運転においては、過去のログを参照してパラメータセッティングを行うことが多いが、このログ情報が紙の媒体でしか存在せず、その記録もオペレータが行わなければならない。

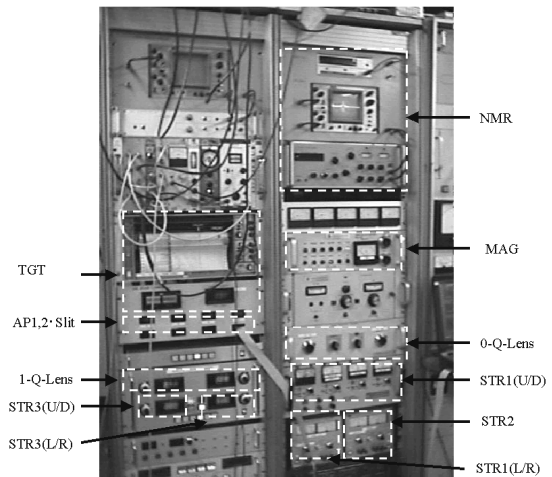


図 2 BTSのインタフェース
Fig. 2 Conventional interface for BTS.

4. ユーザ認知行動モデル

4.1 タスク分析

タスク分析はユーザの操作や行動を観察し、記録・分析することによって、システム設計に関する問題点を抽出し、それを人間と機器の両側面から考察し、設計の要求項目や改善項目を明らかにする評価の手法である^{[3][4]}。ビデオ撮影を含めた観察と運転者へのインタビューを行うことにより、タスク分析を行った。これにより、ユーザごとの操作履歴を明らかにできた^[2]。

4.2 タスク分析に基づくユーザの認知行動モデル

BTSの操作におけるタスクは、その手順から3つのフェーズに分けて考えられる。

Phase-1では0度のPortにビームを到達させることを目標とし、ここでのタスクはイオン源の調整とビームの調整とに分けられる。ビームの調整は更に収束タスクと位置調整タスクに分けられる。収束タスクは0-Q-Lensの調整によって行われる。ただし、このフェーズでは加速器の正常な動作を確認することが重要であって、厳密なビームの収束性や方向の調整を重要視しない。

Phase-2では実験で使用する角度のPortへビームを適切に導き、TGTにビームを確認するまでの過程である。この段階では、ビーム電流の大きさは重要視しない。

Phase-3ではTGTにおけるビーム電流を最大にすることを目標としてビームの調整を行う。このタスクもPhase-1と同様にビームの収束タスクと位置調整タスクとに分けられる。

どのフェーズにおいても、収束タスクが重要であることは、ビームの物理的特性から容易に推察できる。ビームの収束タスクは更に0-Q-Lensの制御・1-Q-Lensの制御に分

けて考えることができる。

位置調整タスクは更に縦方向と横方向とに分けて考える。縦方向の制御はSTR1(U/D)の制御・STR2(U/D)の制御・STR3(U/D)の制御に分けられ、横方向の制御はSTR1(L/R)の制御・MAGの制御・STR3(L/R)の制御に分けられる。

また、すべての制御タスクは何らかの情報獲得タスクを伴う。情報獲得タスクも各計測器(Slit・AP1・NMR・MB・AP2・TGT)ごとに分けて考えられ、制御タスクに用いている制御器よりも下流の計測器が情報獲得タスクの対象となる。

これらを踏まえた上で、タスク分析によって得られたBTS操作のユーザの認知行動モデルを図3に、Phase-3についての詳細を図4に示す。

4.3 タスク分析の結果から得られるインタフェースの要件

本報告の対象システムであるFNLの実験用加速器システムは、多くの種類の実験のために設立されたものであり、最終的に、実験条件からの要求に応じた適切なビームの状態を実現することが要求される。そのビームの条件としては、安定でかつ同一条件下での再現性を持つことである。

タスク分析から得られた規範的な操作の流れ、及び3.3節に挙げた問題点から、より効率的な運転の支援のためには、以下のような条件がインタフェースに求められると考えられる。

要件1:パラメータの統合的な表示

4.2節で述べた認知行動モデルを元にして、計器をただ羅列するのではなく、全体的な流れをイメージできるインタフェースは、特に初心者に対する運転支援において有効であると考えられる。

要件2:熟練運転員の操作モデルに基づく支援の提供

タスク分析の結果から、熟練運転員の運転操作にはある一定のパターンがあり、それに従うことでより効率的なビームのハンドリングを行っていることが示されている。このような熟練運転員の操作のモデルに基づき、初級者

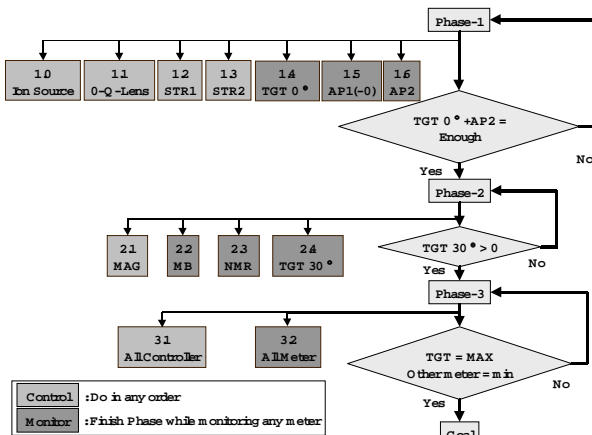


図3 BTS操作のユーザ認知行動モデル

Fig. 3 Users' cognitive behavior model in BTS operation.

が運転する場合の操作のアドバイスを提供することが重要だと考えられる。

要件3:PCによるログの収集及びデータベースの構築

運転作業の効率化という観点からは、PCによるログの収集及びデータベースの構築が重要な要件となる。このデータベースを用いて、ログデータの入力及びリロードを可能にすることにより入力作業が簡略化され、ビームを見失うといった操作ミスを行った場合、その再発見を容易に行うことができる。この機能に関しては熟練度に関わらず有効な支援であると考えられる。

5. インタフェース機能適合理化過程

4章で得たインタフェースの要件に基づきプロトタイプインタフェースを構築し、実環境下で使用して得られたいくつかの不満点の指摘や新たな要求といったユーザからの意見をもとに進化的にインタフェースの改善を行った。この章では、この変遷を順に追いながら、ユーザの要求やユーザの操作の観察から導かれる改良要件と、改良の過程について述べる。尚、インタフェースの作成において、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.)を使用した。

5.1 インタフェースタイプ1

インタフェースタイプ1(図5)は、4章で述べた要件を盛り込んで開発した第1プロトタイプインタフェースである。要件1を満たすように、多くの計測パラメータを上流のものから順にPCの画面上に配置することで直感的なインタフェースを構成した(図5)。表示形式としては、従来使用されているアナログメータに、微小ビーム電流の検出をユーザに通知するための対数形式メータ(図5)を組み合わせたものを使用した。これらは、初期ビーム調整時に有効であると考えられる。

また、要件3を満たすために、ログデータの記録やその呼び出しを実現した(図5)。これにより人的労力の減少効果があり、またユーザの評価も概ね好評であった。

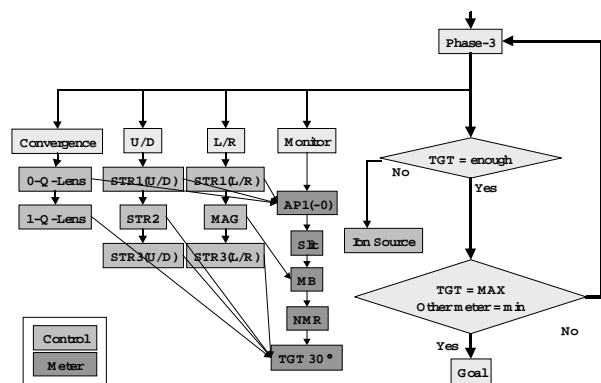


図4 Phase-3におけるユーザ認知行動モデル

Fig. 4 Users' cognitive behavior model for Phase-3.

5.2 インタフェースタイプ2

このインタフェースタイプ2(図6)は、ユーザからの以下の要求を受けて開発した。

要求1:インタフェースタイプ1では、パラメータの表示が上流のものから順に並んでいたが、作業の流れ順に並んでいた方がよい。

ユーザは作業の流れに従って、一番上のメータから順にチェックすればよいようにアナログメータの配置を変更した(図6)。これは、4.3節の要件2をも満足する。

要求2:アナログメータの下に付く対数形式メータは、必要としないユーザには見づらいものでしかない。

このグラフ表示の表示/非表示を選択できるように改良した(図6)。

要求3:ビーム電流に大きな影響を及ぼすMain Vacuumのトレンドをチェックできる表示が欲しい。

Main Vacuumのトレンドが表示されるようにした(図6)。

要求4:表示量と更新速度のトレードオフをおこなう。

データ更新の頻度をSampling Rateの調整で可能にに対応した(図6)。

要求5:ログデータと加速器システムから得られる計測データを並べて表示するLoad Dataの表示とNow Dataの表示は、ログデータの蓄積があまりないため有効性が見られず、逆に表示量の多さがパフォーマンスを落とし、かつ画面を見づらくしている。

これらの表示を通常は表示されない範囲に移動させた(図6)。

5.3 インタフェースタイプ3

このインタフェースタイプ3(図7)は、ユーザからの以下の要求に応じる形で改良がなされた結果である。

要求6:ビーム電流に大きく影響を与えるものは5.2節で述べたMain VacuumとH.V.がある。ビームが定常状態にあるとき(実験中)にこれらの値が急激に変化して、ビーム電流が減少することがしばしば起こる。状態回復のための原因発見のために、ビーム電流とMain VacuumとH.V.との相関が解る表示が欲しい。

DIGITIZERの表示器にビーム電流のほか、H.V.とMain Vacuumも併せて一箇所に表示するようにした(図7)。これによって、各パラメータのトレンドと互いの相関が見られるようになった。

要求7:インタフェースタイプ2で、通常表示されない範囲に移動したLoad Dataの表示とNow Dataの表示は、PC上にログデータが蓄積されると有用なものとなった。通常表示される範囲に戻して欲しい。

通常表示される範囲に復活させた(図7)。

要求8:NMR(核磁気共鳴周波数)の値は、H.V.(エネルギー値)・イオン種(電荷・質量)・Portより理想的な値を求められる。従来、NMRの値は別のPCを用いて計算させていたが、実際にはイオンビームのエネルギー値は一定ではなく、ビームを通すためには、H.V.の現在値を使用したリアルタイムでの計算値を必要とする。また、逆に

正確なH.V.の値を設定するためにも用いられる。よってNMRの値を、同じ画面上で知ることができ、またリアルタイムで求めることができるようにして欲しい。

H.V.の値からNMRの値を自動的に計算して表示してくれる機能を追加した(図7)。

5.4 インタフェースタイプ4

このインタフェースタイプ4(図8)は現在の最新インタフェースである。

このインタフェースでは、4章の要件1を更に強調するため、大きなミミック図(図8)を配置し、ほとんどのパラメータの表示器がユーザの選択により別ウィンドウで表示(図8)できるようにした。これら表示器の表示/非表示の切り替えスイッチとなるチェックボックスは、ミミック図上に配置し、直感的でわかりやすいものとなった。大切なパラメータや使用頻度の高いものは、メインのパネルに常時表示されるようにした。これにより、多くのユーザの運転形態や嗜好の多様性に対応できるインタフェースとなっている。

5.5 まとめ

インタフェースの改良を重ねるにつれ、本研究のインタフェースに対するユーザの主観的評価が向上した。これは、4章で得たインタフェースの要件及び、不満点の指摘や新たな要求といったユーザからの意見をもとにしたインタフェースの開発・改良によってもたらされる以下の事項が、視線の移動の減少や実験に適したビームを得るまでの時間の短縮等をもたらし、ユーザの満足度が向上したからだと考えられる。

- ・今までインタフェースの各所に散在していた表示器の、PCの画面上での統合的な表示
- ・ログの記録・呼出機能、他のPCを操作して求めていたNMRの計算機能のインターフェース上への統合
- ・ユーザ個々の必要・嗜好に対応できる、選択肢・機能の提供
- ・表示量と表示速度のトレードオフ

また、ユーザから多くの改良要求が寄せられることから、本研究におけるインタフェース改良が大きな期待を受けていることがうかがえる。

以上から、4章で述べたインタフェースの要件及びユーザの要求に基づくインタフェース開発・改良の有効性が確認できた。

6. 結論

本報告では、実験用加速器の運転を例に、熟練者の規範的な行動のモデルを認知行動モデルとし、このモデルからインタフェースの具備すべき要件を抽出し、この基本的な要求事項を満たすインタフェースプロトタイプを準備し、それを実環境下での利用において、最初のモデルでは考慮されていない要求仕様を抽出し、進化的にインタフェースを改善する機能適合化の過程についてその有効性を確認できた。本システムは現在も実際の実験業務において利用されている。今後は、機器制御を含めた統合的

なインタフェースの実現と、より詳細な要求仕様に対応した改良を継続していく予定である。

7. 参考文献

[1]D.D Woods:Tasks,Errors and Mental Models(L.P.Goodstein et.al. Ed.),Taylor&Francis(1988).

[2] 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)

[3] 田村博(編): ヒューマンインタフェース, 399/402, オーム社(1998)

[4]E.Hollnagel:CREAM,Elsevier(1998).

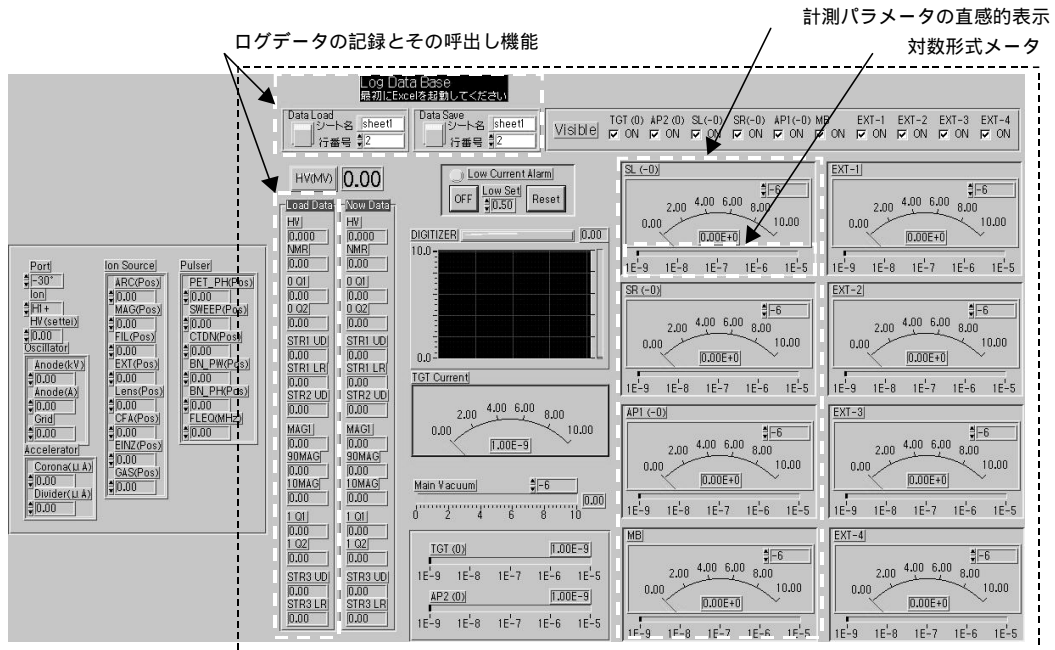


図5 インタフェースタイプ1

Fig. 5 Interface Type1.

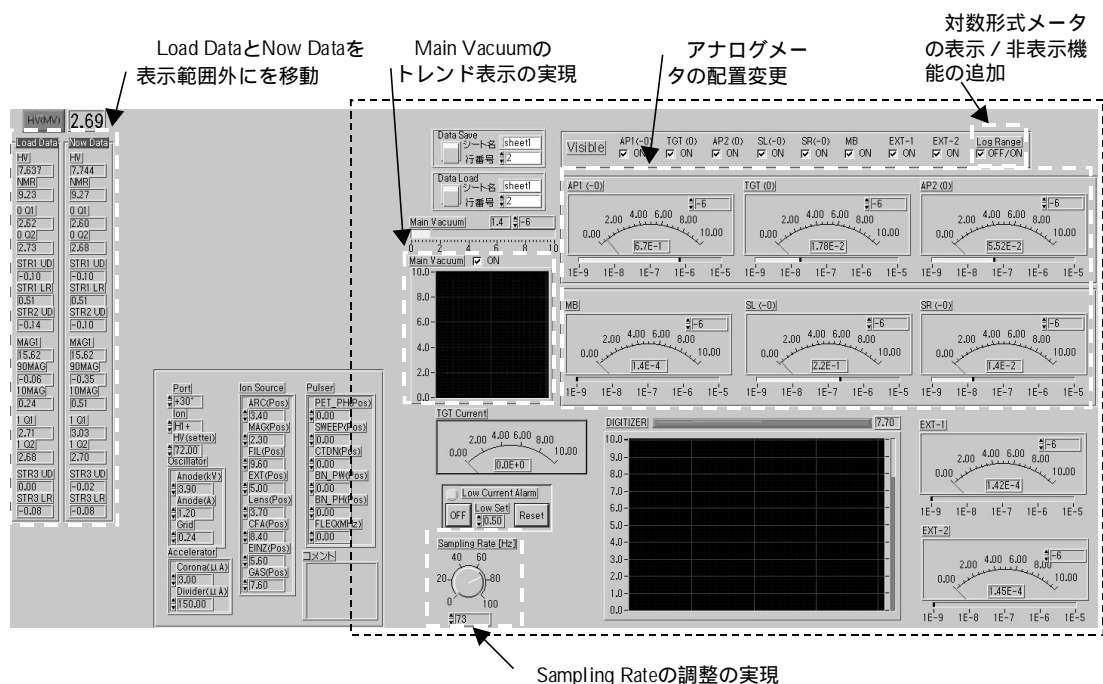


図6 インタフェースタイプ2

Fig. 6 Interface Type2.

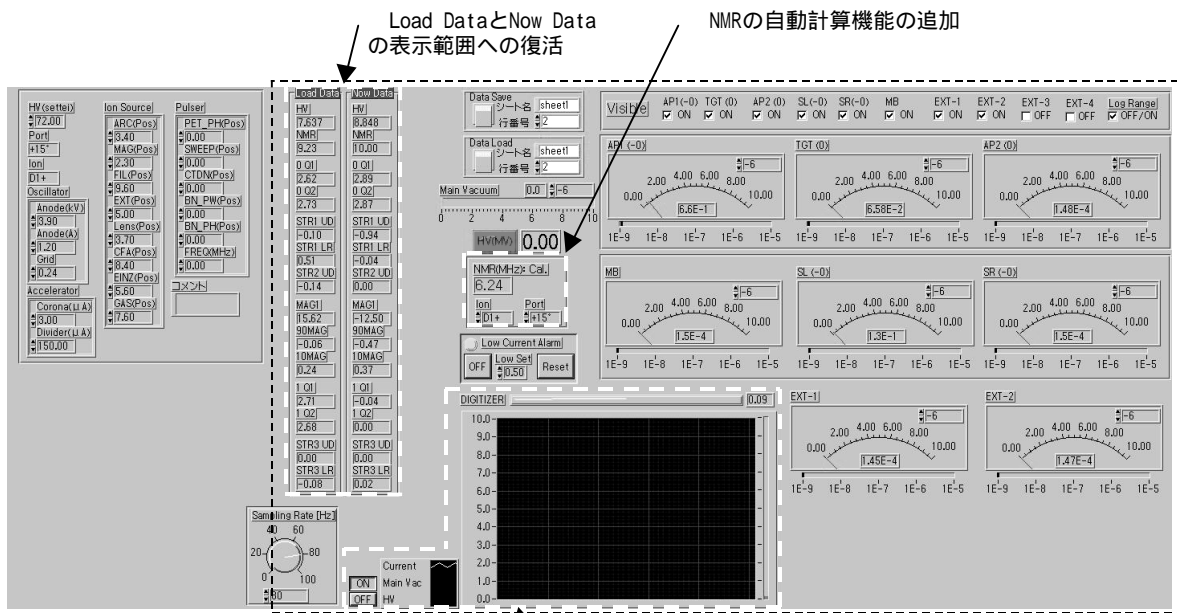


図7 インタフェースタイプ3
Fig. 7 Interface Type3.

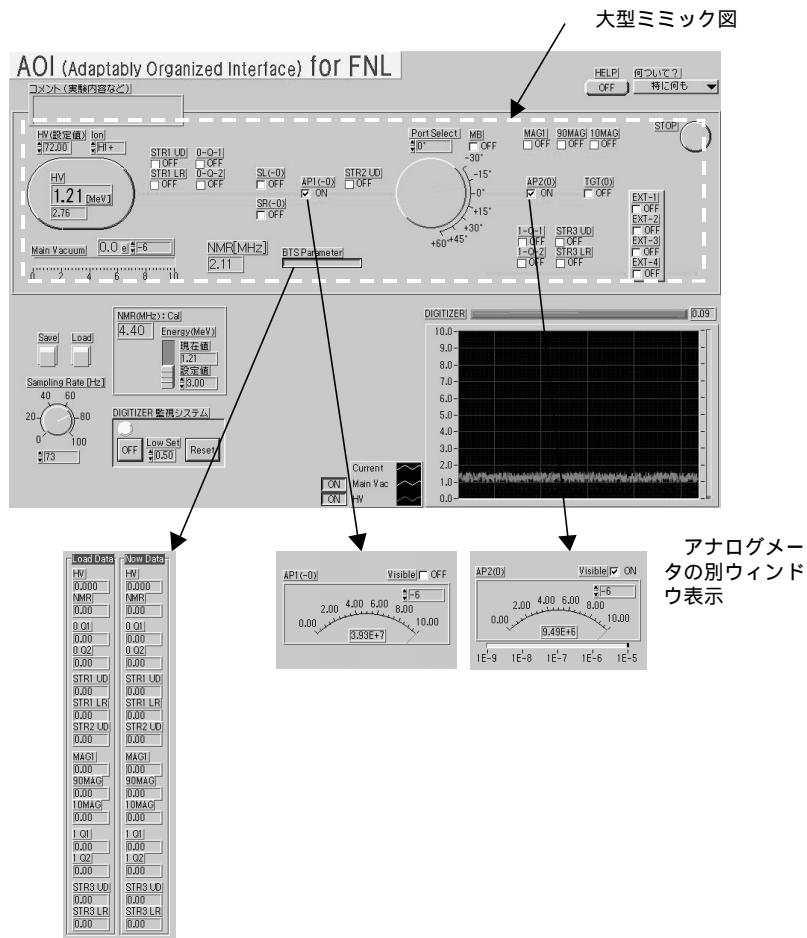


図8 インタフェースタイプ4
Fig. 8 Interface Type4.