

ビル用空調機器・システムのオブジェクト指向開発プロセスの構築

藤崎克己* 伊藤善朗* 井上雅裕*
 増井弘毅* 阪中理展* 中筋義人** 高田一郎**
 *三菱電機 (株)
 **三菱電機メカトロニクスソフトウェア (株)

ビル用空調機器・システムの開発は、開発途中の仕様変更への柔軟な対応や、多様なシステム構成への効率的な対応を要する。また、技術分野の異なる設計者間の共通モデルが必要とされている。上記課題の解決には、部品毎の設計が可能、継承により機種の違いが吸収可能、直感的把握が容易、などの特徴を持つオブジェクト指向分析・設計開発が適している。設計手法の効果的な導入、定着を図るには、ドメインの特徴に合わせた手法の拡張と、分析・設計作業の細部のノウハウを含めたプロセスの構築が不可欠である。我々は、パイロットプロジェクトの実設計プロセスに基づき、オブジェクト指向を用いたビル用空調機器の開発プロセスを構築した。

The Object-Oriented Development Process
 for Building Air-Conditioning Controllers and Systems

Katsumi Fujisaki* Yoshiaki Ito* Masahiro Inoue*
 Hirotaka Masui* Masanobu Sakanaka* Yoshito Nakasuji** Ichiro
 Takada**

*Mitsubishi Electric Corporation

**Mitsubishi Electric Mechatronics Software Corporation

In the development of Building Air-Conditioning Controllers and Systems, flexible adaptations for specific modification and system variations are required. Common system models among mechanical, electric and software engineers are also required to cooperate with each engineer. To resolve these problems, we have introduced Object-oriented method in our field. To introduce design method effectively, we have extended the method to meet our domain features, and have established analysis and design process in detail on our practical design.

1. はじめに

我々が対象としている空調機器は、近年ネットワークを具備し、統一したコンセプトのもとで開発されている[1][2]。各機器はネットワークを介した情報交換により、きめ細やかな連携運転を実現している。また、ユーザの物件に対し、最適な空調機器を選択し、自由かつ低コストに組み合わせ提供することが可能となっている。

(図1を参照)

このようなビル用空調機器・空調システムは、年々高機能化、複雑化し、次のような課題を持っている。

第1に、ビル用空調機器・空調システムの仕様は、開発当初から固定されることは少なく、分析・設計作業途中での追加・改定が頻繁である。

第2に、ユーザ毎の多様なシステム構成に応えるため、部品化された機器を組み合わせ、自由度の高いシステムが構成可能なことが要求される。

第3に、機種毎にバリエーションが多く、1つのコントローラで様々な機能オプションを実装しなければならない。

第4に、機械系、電子系、S/Wの設計者と

いった技術分野の異なる技術者が協調して開発するため、技術者間の正確な仕様伝達と、仕様誤解や仕様抜けを防ぐ効果的なデザインレビューの実施が必要である。

上記課題を解決する手法として、オブジェクト指向分析・設計手法の導入を検討した。オブジェクト指向では、部品化による仕様化作業で、仕様の固定部分から順次設計できる。また、継承関係等を用いて機種毎の違いを吸収できる。さらには対象を”モノ”としてとらえるため直感的に理解しやすく、各分野の技術者が理解しやすい仕様書の作成が可能である。

しかし、分析・設計手法を導入する場合、既存の手法のみでは、ドメイン特有の問題解決に不足、あるいは冗長な事項も多く、我々の対象分野である空調分野にあった拡張が必要である。さらに、過去の設計プロセスと対照し、手法による分析・設計作業の細部のノウハウまでを含めた開発プロセスの構築が不可欠である。

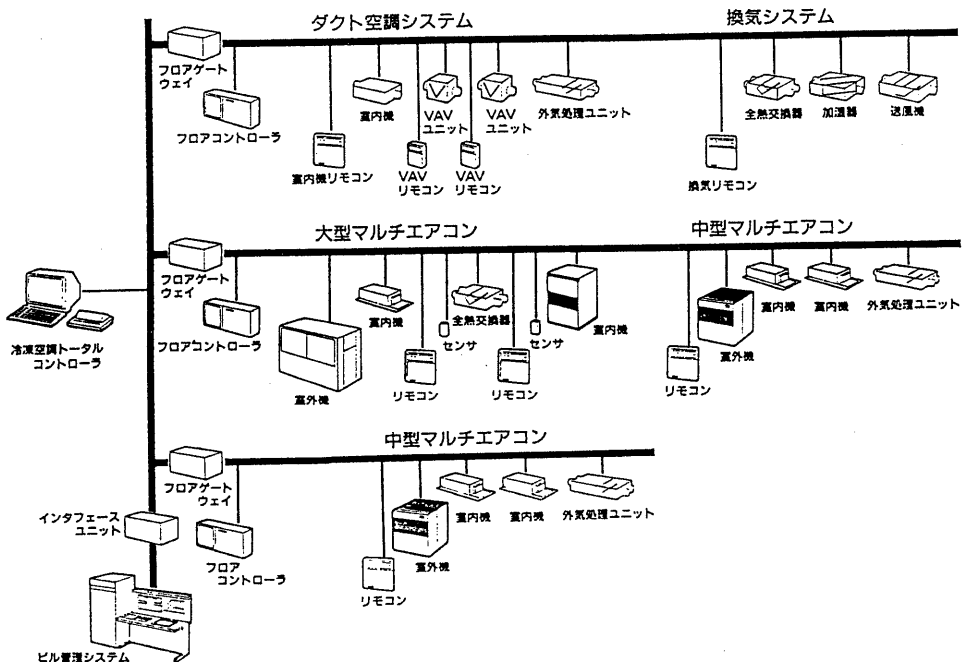


図1 空調システムの構成例

我々は、パイロットプロジェクトを選定し、その実設計プロセスに基づき、ビル用空調機器・システムのオブジェクト指向開発プロセスを構築した。

本稿では、第2節で開発対象と開発課題及び対策について述べる。第3節では、オブジェクト指向導入における問題点と導入対象の選定について述べる。第4節では、構築した開発プロセスの説明を行う。第5節では、開発プロセスの構築による効果と今後の課題について述べる。

2. 開発背景

2. 1 開発対象

図2に開発対象であるビル用空調機器の基本単位と室内機の内部ブロック図を示す。

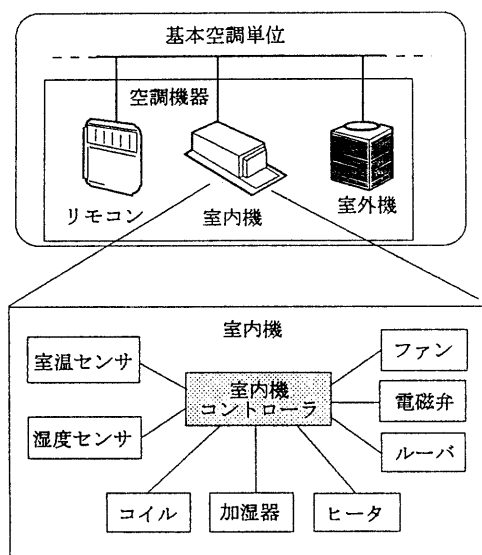


図2 空調機器及び室内機内部のブロック図

空調機器の基本単位は、室内機、室外機、及びこれら进行操作するリモコンで構成される。また、複数の基本空調単位で空調システムが構成される。

空調機器の基本機能は、暖房、冷房による温度調節、弱風、強風等の風量調節、ルーバ操作による風向制御等である。これらの機能を実現するために、室内機のコントローラは室内の温度や湿度をセンサで計測し、ルーバ、ファン、加湿器等

のアクチュエータを制御する。

2. 2 開発課題

上記空調システムの開発課題を以下に示す。

(1) 仕様変更・改定への柔軟な対応

空調機器の仕様は開発当初に細部まで明確になっていることは少ない。また、個々の空調機器の仕様が先に明確化してから次第にシステム全体の仕様が明らかになる。したがって、開発と仕様決めが同時進行するため、仕様の追加・改定に対して柔軟な対応を要する。

(2) 多様なシステムの効率的な実現

空調システムは、ユーザの要求に応じて構成が変わる。そこで、各空調機器を部品化して多種多様なシステム構成に対応できるような設計を行う必要がある。

(3) 機種バリエーションへの柔軟な対応

空調機器は、ファンのインバータ、ルーバ、加湿器の有無など様々なオプションがある。コストやメンテナンスを考慮した場合、1つのコントローラで複数機種を制御できることが望ましい。

(4) 各設計者間のコミュニケーション向上

空調システムの開発には、冷凍サイクルなど空調の基本機能を設計する機械設計者、制御基板を設計する電子制御設計者、制御基板の組み込みS/Wを開発するS/W設計者が関連している。上記複数分野の技術者間では散文記述の仕様書が使用され、設計の上流工程で効果的なデザインレビューが実施できない、仕様の誤解があるなどの課題がある。各設計者に理解しやすい仕様書の作成が必要である。

2. 3 課題解決策

上記課題の解決には、以下の点からオブジェクト指向分析・設計が適していると考える。

(1) 部品化

空調システム全体から、個々の機器内部までをオブジェクト指向により整理することで、システム構成部品、あるいは機器の構成部品として部品化する。これにより、部品仕様の固定部分から順

次設計することが可能となり、また仕様の追加・変更は部品の追加・変更として対応できる。

(2) 継承

空調機器のバリエーションによる機種の違いを、継承関係を用いて整理することで、開発項目を最小限にとどめる。

(3) ”モノ”中心の分析

空調機器に内蔵されるセンサ、電磁弁、加湿器などの様々な物理部品をそのままオブジェクトとして利用し、空調機器をモデル化するため、機械設計者にも理解が容易である。このオブジェクトモデルは各設計者間のコミュニケーションの共通モデルとなる。

3. オブジェクト指向導入の検討

3. 1 手法の選択

オブジェクト指向の手法には、分析、設計、実装までの方法論があり、仕様記述様式が豊富なOMT法[5]、仕様化プロセスの自由度が高く仕様記述様式が簡素であるCoad & Yourdon法[3][4]、分析よりも設計プロセスに重点を置かれたBooch法、仕様記述様式が豊富であるが仕様化プロセスが複雑なShlaer & Mellor法[7]がある[6]。

手法の選択においては設計者の理解のしやすさに重点を置き、表現が簡潔で記述しやすく、システムの概観が捉えやすいといわれるCoad & Yourdon法を基本的手法として採用した。但し、過去の空調機器開発と比較して分析や設計の項目が不足したり、仕様記述が不十分な場合は、OMT法など他の手法を取り入れた。

3. 2 用語の統一

オブジェクト指向は手法により記法や用語が異なる。我々は、複数部門における混乱防止のため記法や用語の意味を統一した。

抽象世界にあるが実世界には存在しない対象を”クラス”とし、実世界に存在する対象は”インスタンス”とした。さらに、クラスとインスタンスを区別せず、現実世界での存否に関係なく抽象化した全ての対象を”オブジェクト”とした。

3. 3 手法導入での問題点

どの手法においてもオブジェクト指向は概念的 content が多く、開発に必要なオブジェクトの抽出方法やS/Wの設計方法は明確に記述されておらず、規定もしていない。文献の手法は自由度が高く、そのまま適用しても設計者の視点や作業内容が統一されないため、統一化された分析・設計作業が困難である

したがって、オブジェクト指向を用いた空調システムの開発では、作業内容はもちろん分析・設計の際の視点や留意点などの細かいノウハウを含めた形で、開発プロセスを構築する必要があった。

3. 4 導入対象の選定

ビル用空調システムの開発は、システム全体の設計作業と空調機器単体の設計作業がある。システム全体の設計は、検討範囲が広いうえ、固定しにくい、ふるまいが複雑であるなどの点から、初回のオブジェクト指向の導入は難しいと思われる。したがって、まずは空調機器単体への導入を実施した。

4. オブジェクト指向開発プロセスの構築

4. 1 開発プロセスのフロー

図3に我々が構築した空調分野に最適な開発プロセスのフローを示す。

図3は開発プロセスをAOD(Activity Object Diagram) [8] で記述している。AODでは、仕様化、分析、設計の各作業プロセス(バブルA[n])と、作業から生成する成果物(B[n])及び作業間の成果物の流れで開発プロセスを表現する。横軸は開発工程の経過時間であり、A[n]は右に位置するバブルほど時間的に遅い工程を示す。バブルの面積は作業負荷、重なり具合は並行性を表す。AODを用いることでプロセス全体の作業の種類、遂行順序、作業間の依存関係を視覚的に把握できる。

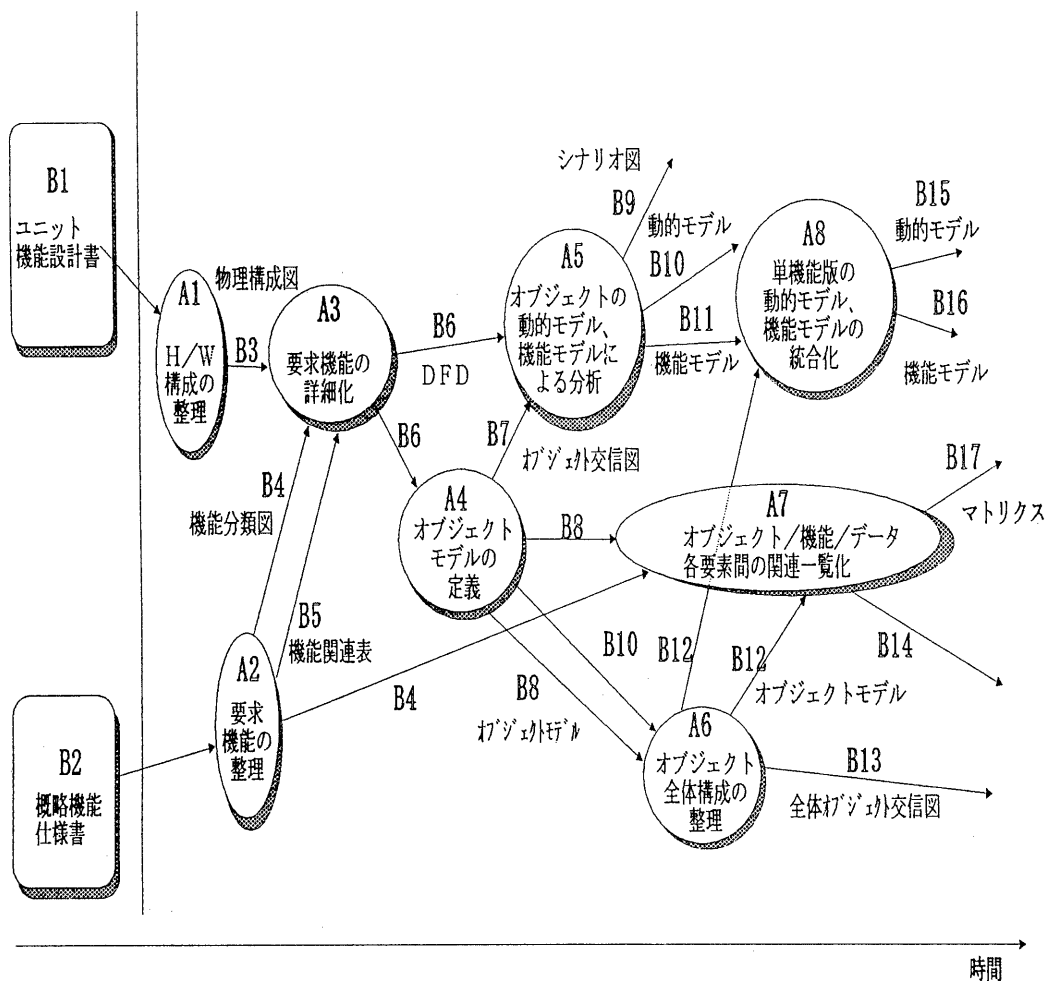


図3・オブジェクト指向を用いた空調機器の開発プロセス

4. 2 開発手順の詳細

ここでは、図3で示した開発プロセスの詳細な説明を行う。【】は各プロセスにおける成果物を、「」は成果物の内容の一部分を示す。また《A_n》は図3のバブルを示す。

(1) H/W構成の整理 《A1》

対象機器の機能の直感的把握とオブジェクトの候補を得ることを目的として、対象機器の物理構成部品（ファン、センサ等）を一般—特殊構造や全体—部分構造を用いて整理した【物理構成図】を作成する。図4に【物理構成図】の例を示す。

物理構成部品は後の「オブジェクトの候補」と

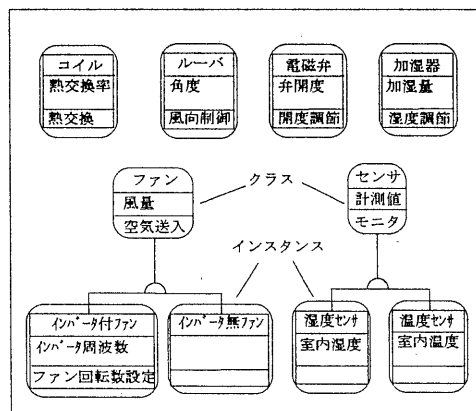


図4 物理構成図

なるため、属性やサービスの部分に一般的あるいは直感的なものを記入しておく。

(2) 要求機能の整理 《A2》

多数の要求機能を網羅的に抽出するとともに、その全てを容易に把握することを目的として、一般—特殊構造や全体—部分構造等のオブジェクト指向の表記を用いて階層的に整理、分類した【機能分類図】を作成する。図5に機能分類図の例を示す。

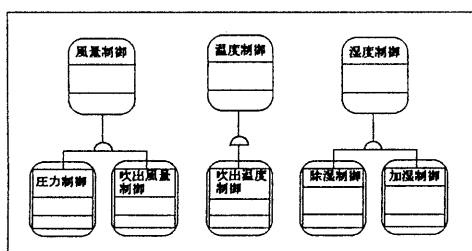


図5 機能分類図

【機能分類図】の作成においては、まず空調システムの持つ状態をもとに適当な主題（サブジェクト）を定義し、サブジェクト毎に概略機能仕様書から抽出した要求機能を分類する。

要求仕様の分類後にオブジェクト指向の表記を用いて【機能分類図】を作成する。

【機能分類図】はオブジェクト指向の表記を用いるが、オブジェクトではないことに注意する。インスタンスに相当する機能項目は、次工程のDFDが記述できるレベルのものを抽出する。

また、機能間の関連性を把握するため、各サブジェクト毎に【機能関連表】を作成する。

(3) 要求機能の詳細化 《A3》

機能仕様を明確化し、オブジェクトの持つべき機能を抽出するため、【機能分類図】から選択した機能項目毎に【DFD】を作成する。

ここでDFDを用いた理由は、機能分析に用いる一般的な手法であること、過去の空調システム開発で使用していることである。

また、【DFD】作成時には【物理構成図】より関連する物理構成部品を「オブジェクトの候補」として付記しておき、次工程のオブジェクト抽出の補助作業を行う。

(4) オブジェクトモデルの定義 《A4》

分析段階におけるオブジェクトを決定し、オブジェクトによる要求機能の実現方法を明確にするため、【DFD】から「オブジェクトモデル」及び【オブジェクト交信図】を作成する。図6にオブジェクトモデルの属性及びサービスの定義、及び【オブジェクト交信図】の例を示す。

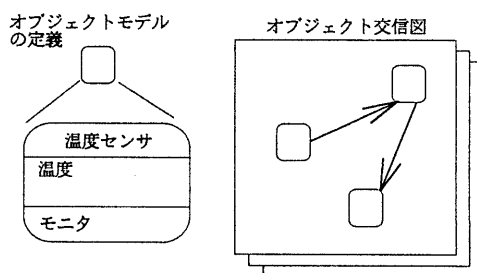


図6 オブジェクトモデルとオブジェクト交信図

オブジェクトの抽出では、まず、【DFD】のバブル、ストアデータを「オブジェクトの候補」に割り付け、オブジェクトとする。「オブジェクトの候補」に割り付け不可能なバブル、ストアデータは新たにオブジェクトを作成する。

次に各オブジェクトの属性、サービスを定義し、オブジェクトモデルを完成する。

オブジェクトモデル完成後は、DFDで分析していた機能をオブジェクトで実現するために、オブジェクト間メッセージ通信を用いて【DFD】を【オブジェクト交信図】に変換する。

(5) オブジェクトの動的モデル、機能モデルによる分析 《A5》

オブジェクト交信図作成時に抽出した各オブジェクトのメッセージ通信順序を明確にし、オブジェクトの状態を分析するため、機能項目毎に【シナリオ図】を作成する。

また、【シナリオ図】をもとにオブジェクトの動的特性を明確にするため、機能項目毎に【動的モデル】を作成する。

さらには、各オブジェクトの静的特性（機能特性）を明確にするため、【機能モデル】を作成する。

（6）オブジェクト全体構成の整理 《A 6》

対象機器コントローラのS/W構造の全体像を明確化するために、オブジェクトによる全要求機能の実現を反映した【全体オブジェクト交信図】を作成する。

【全体オブジェクト交信図】の作成は、サブジェクト毎に行う。まず全てのオブジェクトを紙に描画して切り抜き、バラバラにして1枚の紙の上に配置する。

次に【オブジェクト交信図】をもとにオブジェクト間のメッセージ通信を追記し、全機能を実現するためのオブジェクト間の関係を一覧化し、

【全体オブジェクト交信図】を完成させる。

（7）オブジェクト／機能／データ各要素間の関連一覧化 《A 7》

オブジェクト、機能、データ間の関連を網羅するために、各サブジェクト毎にオブジェクト、機能、データを対応させたマトリクスを作成する。

これらのマトリクスを使用することで、仕様変更により修正すべきオブジェクトが早期に決定可能であるとともに、不具合発生箇所の検出が容易になった。また、物理部品名を持つオブジェクトと機能、データの対応が一覧化できるために、機械系設計者の理解を補助するのに有効であった。

（8）オブジェクトの詳細化 《A 8》

機能項目毎に分析された動的モデル、機能モデルを統合化して、各オブジェクトの【動的モデル】と【機能モデル】を完成させる。

5. まとめ

我々は、空調分野に特有の課題に対応したオブ

ジェクト指向開発プロセスを構築した。以下に本開発プロセスの構築による効果を述べる。

第1に、仕様の追加・変更に対し、オブジェクト（部品）の追加・変更により容易に対応できた。

第2に、空調分野に適した開発プロセスを確立したことで、機種を越えたオブジェクトの共通化（再利用）が可能となり、開発効率の大幅な向上が期待できる。

第3に、物理部品をそのままオブジェクトとして利用し、空調機器をモデル化した結果、各設計者間のコミュニケーションの共通モデルが確立できた。これにより、仕様の誤解や抜けが減少し、効果的なデザインレビューが実施できた。

また、今後の開発プロセス構築検討作業の展望を以下に述べる。

本稿では、オブジェクト指向を用いて分析から設計までの開発プロセスを構築したが、実装部分のプロセスの構築は不完全である。これまでの資産の流用やマイコンの制約からオブジェクト指向言語による実装が不可能であり、構造化言語で実装しているためである。現在、対策として、構造化言語によるオブジェクト指向的実装を行うためのコーディング方法を検討している。

また、空調システムの開発をシステム全体から空調機器単体までを一貫した手法で実施するためには、空調システム全体に対する開発プロセス構築時に本稿での開発プロセスとの整合性を考慮することが重要である。

参考文献

- [1] Y. Honda, M. Inoue, Y. Ito, and T. Sato, "Integrated Network Architecture for Heating, Refrigerating, and Air Conditioning", ASHRAE TRANSACTIONS, VOLUME 99, PART2, 1993
- [2] 本田嘉之, 井上雅裕, 佐藤 務, 伊藤善朗, "総合冷凍空調ネットワークシステム《M-NET》の構築", 第25回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, VOL. 37, 1991
- [3] P. Coad, E. Yourdon, "Object-Oriented Analysis", Prentice Hall, 1990

邦訳：富士ゼロックス情報システム訳，羽生田栄一監訳，”オブジェクト指向分析（OOA）”，トッパン，1990

[4] P.Coad, E.Yourdon, "Object-Oriented Design", Prentice Hall, 1991

[5] J.Rumbaugh, M.Blaha, W.Premierani, F.Eddy, and W.Loresen, "Object Oriented Modeling and Design", Prentice Hall, 1991

邦訳：羽生田栄一監訳，”オブジェクト指向方法論OMT モデル化と設計”，トッパン，1992

[6] 本位田真一，山城昭宏：オブジェクト指向システム開発，日経BP社，1993

[7] S.Shlaer, S.J.Mellor, "OBJECT-ORIENTED SYSTEMS ANALYSIS", Prentice Hall, 1988

邦訳：本位田真一、山口 亨，”オブジェクト指向システム分析”，啓学出版，1990

[8] 寿原則彦、田村直樹、中島 毅、澤本 潤：ドメイン分析に基づくソフトウェア開発環境の構築，通信学会，知能ソフトウェア工学研究会報告，KESE-92, No. 7, pp. 9-16, 1992