

空調機生産作業性評価のための仮想試作システムの開発と適用

宮脇 隆志、 岡本 敬、 李田 淳一、 浜田 恒彰
ダイキン工業(株) 情報化推進センター
大阪府堺市金岡町1304

空調機の生産における組立作業性を3次元CADを用いて定量的に評価するシステムを開発した。従来の作業性定量評価手法は生産ラインの自動化を指標とするのに対し、本システムでは配管ロウ付けなどの手作業工程に着目し、作業姿勢や取扱う部品重量などの身体的負担度を加味した上で、設計段階で「組立て予想工数」と「作り易さ」を事前評価することができる。

本稿では、3次元CADデータをもとにしたリアルタイムの作業シミュレーションと干渉チェック、組み立て順の検討、および定量評価機能など今回開発した内容について報告する。

Development and Application of Virtual Prototyping System for Evaluation of Air-conditioner's Production Operability

Takashi MIYAWAKI, Takashi OKAMOTO, Junnichi MOKUTA, Tsuneaki HAMADA
Daikin Industries Ltd. Information Technology Advancement Center
1304 Kanaoka-cho, Sakai city, Osaka

Virtual prototyping system is developed to evaluate the air-conditioner's production operability using the digital mockup which is modeled by three dimensional CAD system.

Human operations such as blazing are considered on calculation, and the system has real-time simulation and real-time interference check functions for accurate evaluation.

This paper describe about the contents of virtual prototyping system development and application to the air-conditioner's development.

1. 3次元CADによる製品組立性の事前評価

製品の開発期間短縮・コスト削減のためには3次元CADが必須のツールとなりつつある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。3次元CADを用いれば複雑な形状の干渉チェックが自動でできるだけではなく、完成した試作品ではわからない組立途中の作業性も検討できるので質の高い事前評価が可能となり、開発期間増大の要因となる設計変更を減らすことができる。また組立性が向上すれば分解性も向上し、リサイクルコストの観点からもメリットが大きい⁽⁴⁾。しかし3次元モデルは現実を完全にシミュレートできるわけではないので実試作との違いが現れる。そこで3次元CADで抽出できる範囲を明確にしておく必要がある。

図1-1および図1-2はPA（業務用空調機）のある年度における代表的な室外機開発における実試作での問題点を分析したものである。PAの室外機開発では冷媒系統（配管）の設計が主となるため、問題点の指摘箇所も配管関係が最も多い。問題点の内容としては、干渉およびロウ付けを含む作業性が多く指摘されている。それぞれの図には問題点の事前検討（問題の回避もしくは改善提案）が3次元CADを用いれば可能かどうかを主観的に評価した結果もグラフ化している。

図1-3はこれらの内容をもとに組立性の事前評価に必要な機能とそれによる事前抽出率を予測したものである。組立性検討に必要な部品がすべて3次元化され、かつ人による抽出見落としがないと仮定した場合、3次元モデルにより問題点の87%が事前抽出可能と予測される。抽出不可能な項目としては、シール材の剥がれや水侵入といった実試作でなければわからない問題があげられている。

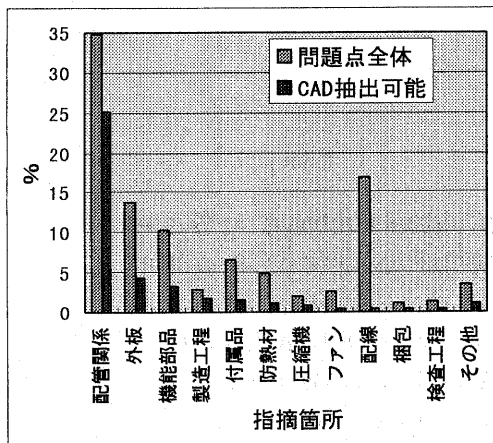


図1-1 室外機試作での問題点指摘箇所の分析

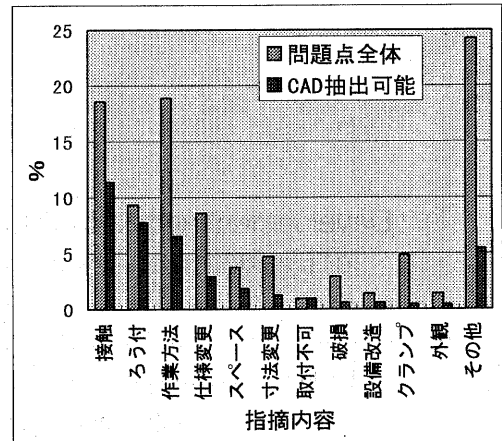


図1-2 室外機試作での問題点指摘内容の分析

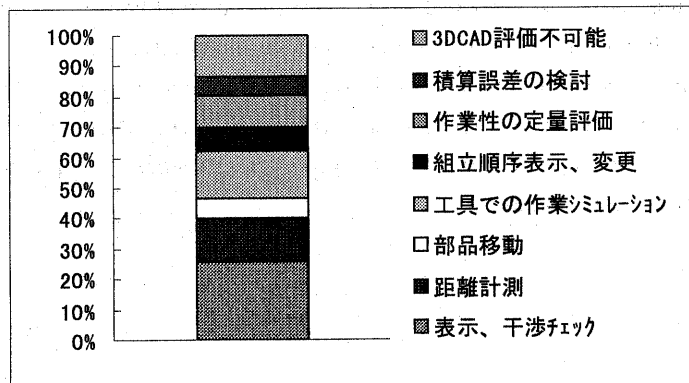


図1-3 組立性の事前評価を行うために必要な機能とそれによる事前抽出率の予測

2. 生産作業性事前評価システム（仮想試作システム）の開発

2-1. システム化内容

今回開発した生産作業性の事前評価システムを仮想試作システムと呼ぶことにする。仮想試作システムは、前述図 1-3 で示された要求機能を元に開発した。機能は大きく分けて、①3次元CADとのインターフェース機能、②表示や干渉チェックなどの基本機能、③リアルタイムの作業シミュレーション機能、④組立て順検討機能、および⑤作業性定量評価機能の5つである（表 2-1）。要求機能には3次元CADが持っている機能と重複するものもあるが、③の機能を実現したうえで作業性評価が統合的に行えるようにするためトータルのシステム開発を行った。図 2-1 に仮想試作システムのデータフロー、図 2-2 にシステムのクラス構成を示す。システムはSGIワークステーション上に構築し、画面のユーザーインターフェースの実現はIRIS ViewKitを、形状表現はIRIS Inventorを利用している。以下本開発で特に重要であるリアルタイムの作業シミュレーション・干渉チェック機能と作業性の定量評価機能について説明する。

表 2-1 システム化内容

開発項目	機能詳細説明
データインターフェース	3次元CADとのトランスレータ データ入出力
基本機能	3次元形状表示 距離計測 干渉チェック
作業シミュレーション	リアルタイム部品組立シミュレーション 工具による作業シミュレーション ロウ付け作業シミュレーション
組立順検討	木構造表示 組立順表示 組立順変更 部品の組み替え
組立性の定量評価	工数予測 作りやすさ指標の表示 ロウ付け作業性評価

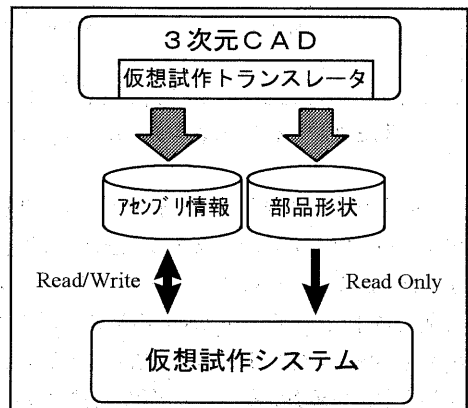


図 2-1 仮想試作システムデータフロー

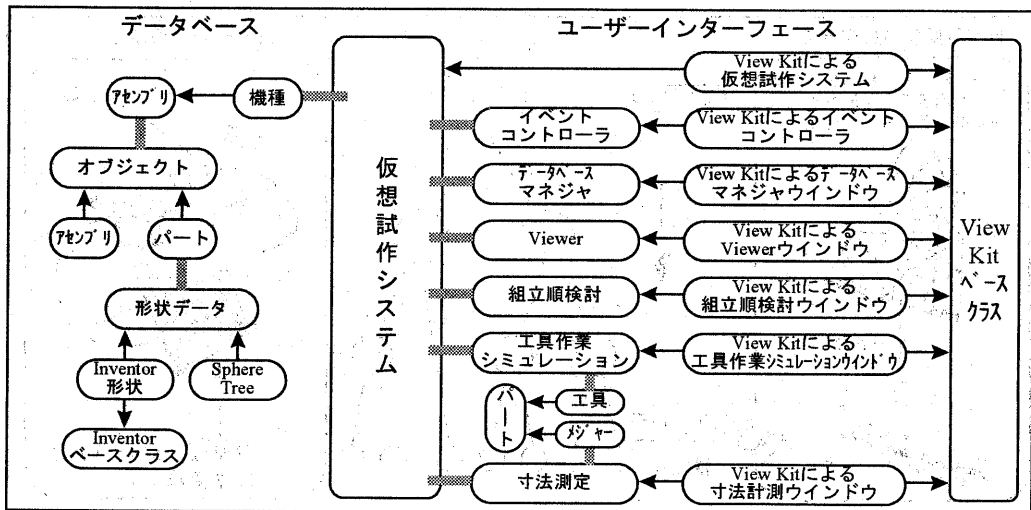


図 2-2 仮想試作システムのクラス構成

2-2. リアルタイム作業シミュレーションと干渉チェック機能の開発

部品の組立てとロウ付けの作業性をよりわかりやすく評価するために、リアルタイムの作業シミュレーションと干渉チェックの機能を実装した。入力装置としては3次元の位置+方向（計6自由度）を直接指定できるセンサーとして、ポヒマストラッカーと3次元スタイラスペンを採用した。

ロウ付けの作業シミュレーションとしては、バーナーによる工具作業シミュレーションに加え、バーナーからの熱影響範囲を示すエリアの表示機能を開発した。これによって、焼損部分を予測することができる（図2-3）。また図2-4は作業シミュレーションにおける干渉の提示方法を示す。

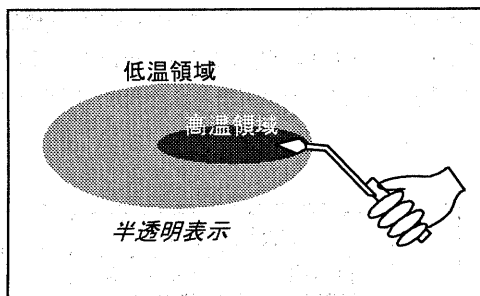


図 2-3 ロウ付け作業シミュレーション

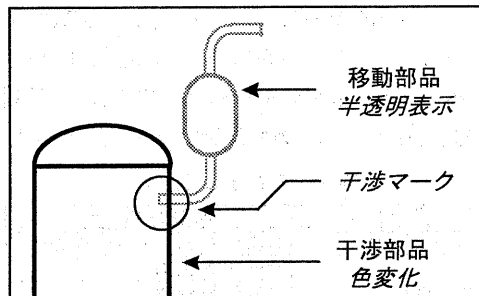


図 2-4 干渉の提示機能

このようなリアルタイムの干渉チェック機能を実現する方法として、本システムでは Sphere Tree 手法を採用した。干渉チェックの手法としては、①境界追跡法、②ボクセル法⁽⁵⁾、③ Sphere Tree 法等が考えられるが、一般的なワークステーションでの実利用における高速処理性を重視し③を採用した上で図 2-5 に示す新しい Tree 発生アルゴリズムを適用した。従来の手法がボクセル表現をもとにして Sphere Tree を発生するのと比較し、本手法では対象の主軸を用いて2分割を行い Binary Tree を形成する点と、対象表面をドロネイ網で分割した三角形メッシュを利用して最下層球を作成する点が異なる。本手法により従来と比較し低容量で高速かつ高精度な干渉チェックを行うことが可能となった。

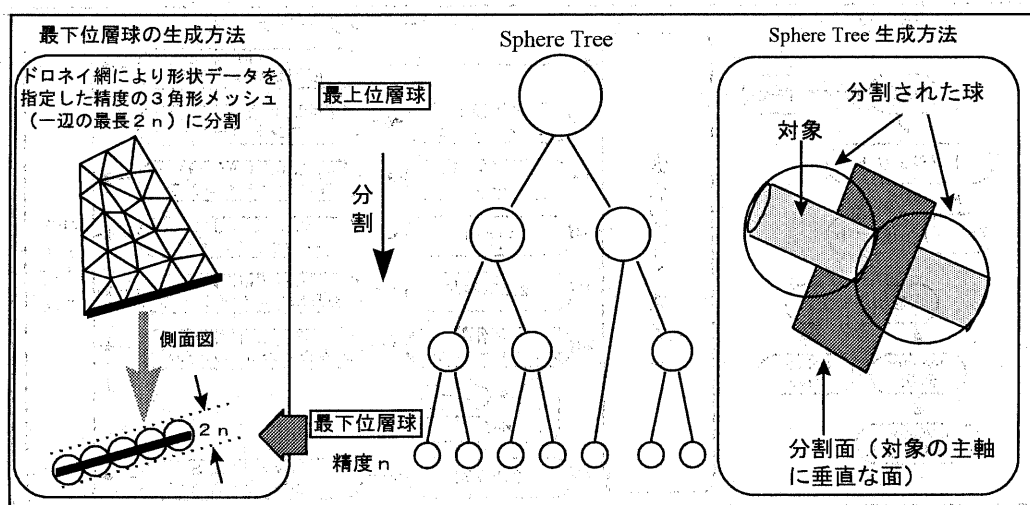


図 2-5 新しい Sphere Tree 発生アルゴリズム

2-3. 空調機に特化した組立作業性評価指標の作成とシステムへの実装

組立性の事前評価において、人による問題点の抽出むらをなくし製品設計への確実なフィードバックを行うためには、作業性の定量評価が重要な機能となる。従来の作業性評価のシステムは自動化を焦点に開発されているため、「小さいものほど作業性が高い」という画一的な解しか得られない。また配管とおしを接合する「ロウ付け作業」のような空調機固有の作業が評価できない。

そこで、組立作業性の定量評価のシステム化において、始めに手作業工程における作業姿勢や取扱う部品重量などの身体的負担度を加味し空調機固有の作業も評価できる指標を作成した⁽⁶⁾。なお本指標は、産業医科大学神代教授の御指導のもと弊社機械技術研究所生産技術開発センターにて作成された⁽⁷⁾。

空調機の作業性の定量化指標は人間工学的手法をベースとしており、組立予想工数と作りやすさ指標を算出する。予想工数の定義においては、組立ての動作を大きく「移動」、「結合」と「加工」の三つに分けそれぞれのベース標準時間を算出した上で、それぞれの動作において組立てにくさの要因を分析・抽出し、WF法とMTM法によって要因毎の標準時間を設定した。作りやすさ指標は、組立てを阻害する要因を含めた組立て予想工数に対して、阻害する要因を含めない理想的組立工数の比率により算出する(式1)。

$$\text{作りやすさ指標} = \frac{\text{理想的な組立工数}}{\text{阻害要因を含む組立予想工数}} \times 100 \quad (1)$$

空調機固有の作業性の定量化指標であるロウ付け作業性は、配管サイズ毎のロウ付け標準時間を算出し、「向き」「スペース」「配管自立性」「位置」および「作業姿勢」のロウ付け阻害要因毎に係数をかけることで予想工数とする(図2-6)。

仮想試作システムへの実装においては、製品の組立て情報、部品の大きさ・重量、および加工に用いるビスの数など3次元CADで設定された情報が自動的に受け渡しできるようにした。

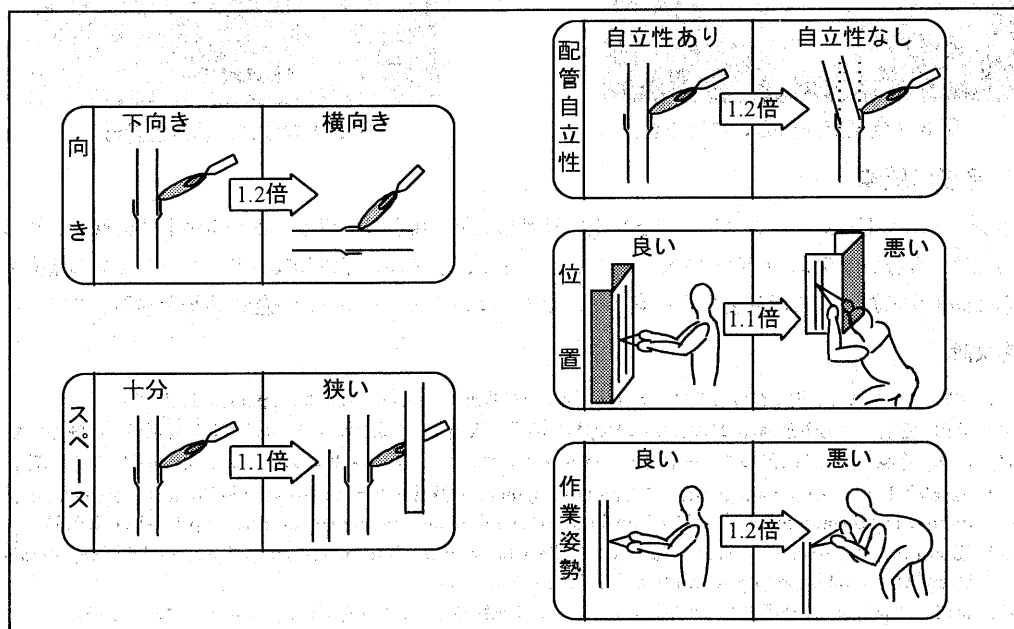


図2-6 ロウ付け作業性を左右する要因

3. 実適用結果

作業性の定量評価に関する精度検証は、図 3-1 に示す現行生産機を用いて行った。その結果実測値と比較し評価値が非常に高い精度で定量化できている事が確認できた(図 3-2)。

仮想試作システムの製品開発への適用例を以下に示す。図 3-3 は全熱交換機の開発において 3 次元設計を行った例、図 3-4 は室外機において配管ロウ付けの作業性評価を行っている例である。本システムを用いながら設計することで、作業性を改善し組み立てコストの安い製品を開発することができた。

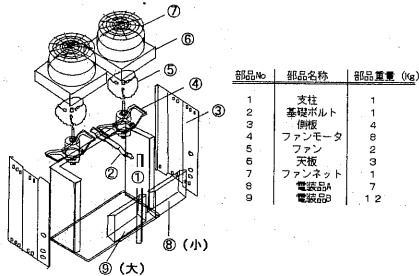


図 3-1 定量評価精度検証モデル

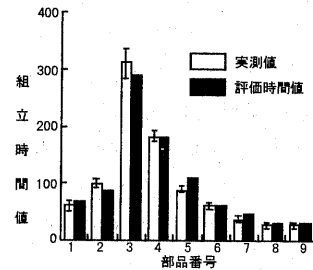


図 3-2 精度検証結果

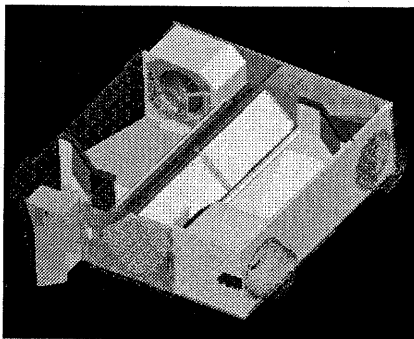


図 3-3 全熱交換器の 3 次元設計

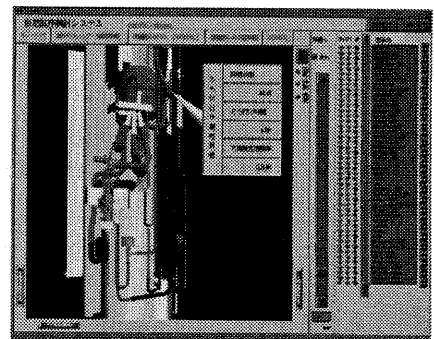


図 3-4 ロウ付け作業性評価

4. 今後の展開

本システムは Unix ワークステーション上に構築したが、現在はプラットフォームが PC に移行しつつあるため、今後システムの PC 化を検討していく。また、リアルタイム作業シミュレーションの精度をさらに向上するため、表示系を含めた実サイズでの作業シミュレーション機能の開発を検討していく。

参考文献

- (1) 平野：「CAE活用におけるフロントローディングの推進」、Pixel、No.132、pp.98-100 (1993)
- (2) 浜田、宮脇：「空調機設計におけるコシット開発の実現」、製造業の未来とコシット・エンジニアリング 特別付資料 (1996)
- (3) 岡本、宮脇：「激変時代のスピード開発…事例・エアコン」、日経メカニカル、No.513、pp.64-69 (1997)
- (4) Sasaki, kawahara, Yanagitani：「The Development of Technology for Recyclable Products -Application to Industrial Air conditioners-」、The Third International conference on Ecomaterials、pp.121-124 (1997)
- (5) Kitamura, Takemura, Ahuja, Kishino：「Efficient Collision Detection Among Objects in Arbitrary Motion Using Multiple Shape Representations」、12th ICPR (1994)
- (6) 富田：「空調機生産技術のこれからの方向」、「21世紀のくるま作りを考える」シンポジウム (1995)
- (7) Sasaki, Kumashiro, Miyake, Matsunami：「A Case Report of Ergonomic Intervention at the Workplace」、3rd Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics (1994)