

装置開発工数半減を目指す 3次元CADと解析の活用

3D CAD and Analysis Utilization for Halving Person-Hours in System Equipment Development

● 山岡伸嘉 ● 山口敦規 ● 河野香代子 ● 内倉洋二

あらまし

富士通は、装置開発のQCD(Quality：品質，Cost：コスト，Delivery：納期)の革新に向けて、サーバ装置の実装構造設計，プリント基板設計のプロセス改革を推進してきた。開発工数を削減するためには，机上検証の強化と効率化が重要であり，ICTの利活用が欠かせない。装置設計にはじまり，量産時の組み立て・検査作業やフィールドの保守作業に至る机上検証に対して，3次元かつリアルな形状を扱えるCADおよび解析シミュレーションを設計・開発の上流に適用してきている。

本稿では，電気系と構造系の3次元CADデータ連携による机上での設計検証の強化や，3次元CADデータへの製造情報の埋め込みによる設計部門と生産部門との情報共有，上流設計における3次元CADデータからの設計検証や解析の適用について，現状の取り組みとこれまでの効果，および今後の展望を紹介する。

Abstract

In pursuit of QCD innovations (Q: quality, C: cost, D: delivery) of large system equipment development, Fujitsu has promoted the design process improvement of server-system packaging structures and printed circuit boards. For shortening person-hours in these processes, we need to utilize ICT tools and make efficient theoretical verification. From the design of system equipment and its assembly and verification during mass production to maintenance work, the three-dimensional and realistic CAD and analytical simulation system is utilized deeply in the upstream processes of design and development as a means of theoretical design verification. This paper describes current projects, and presents the results achieved up to the present, and the future prospects on the following themes: theoretical design verification through cooperation related to 3D CAD data of electric and structural systems; data-sharing between the designing and manufacturing departments by integrating manufacturing information data into the 3D CAD data for design verification; and upstream utilization of 3D CAD data in design verification and analysis.

まえがき

パソコンや携帯電話における開発プロセス革新については、本誌で過去に紹介してきた。⁽¹⁾本稿では、これらに比べ装置構造が複雑で部品点数が二桁以上多く、電気・機構両面を融合させた難易度の高い開発が必要とされるサーバ装置の開発プロセス革新について取り上げる。富士通のサーバ装置は、高性能でかつミッションクリティカルなシステムを目指し、高信頼性と高い品質を実現・維持することで、お客様との信頼関係を築いてきている。

近年では、他社との競合も激しく、製品への要求は高性能や高信頼性だけでなく、省電力、軽量、静音、低環境負荷という付加価値を盛り込み、タイムリーに市場投入することである。^{(2),(3)}このような背景から、2009年からサーバ装置の開発プロセス革新活動を展開してきた。

本稿では、これまで進めてきたサーバ装置の開発工数削減に向けた取り組みを概説するとともに、将来の更なる改革に適用予定の新技术を紹介する。

サーバ装置開発の工数半減の概要

開発プロセス（設計→評価→量産立ち上げ）において、開発工数を半減すべく、部門横断および

プロセス横断による改革に取り組み、開発量（検証項目数、評価手戻り）と開発リードタイムとともに30%削減することを目標とした。取り組みのポイントは、設計の上流における設計品質向上、ICTツール活用による各部門・各工程のデータ連携の最適化、および設計と検証にかかる時間の短縮である。

これらにより、以下の課題の解決を図った。

- (1) 解析および検証ツール活用による設計検証の効率化
- (2) 製造および保守作業性の良否を客観的な基準値により判断し、設計手戻りを削減
- (3) 部門をまたぐ検証情報の共有化と検証の強化

特に、設計者のスキル差による設計品質、設計工数のばらつきをなくすために、設計、設計検証、製造・検査、出荷に至るまでの開発プロセスに上記(1)～(3)の解決策を適用し、更に継続して開発プロセスの革新を進めている。これら一連の取り組みについて、開発工数半減を目指す姿とICT活用例を図-1に示す。

机上検証強化による開発工数削減

● 背景

サーバ装置においては、高密度実装に伴う装置

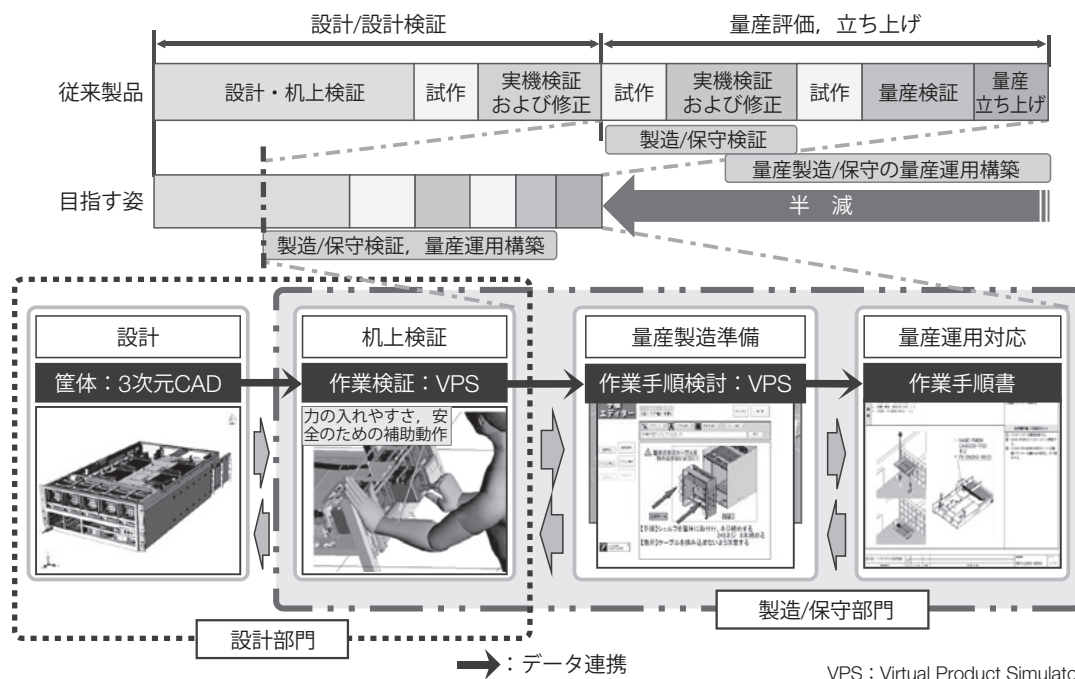


図-1 開発工数半減(目指す姿)とICT活用例

内の空間形状の複雑化に対応すべく、筐体側とプリント基板側の連携した設計を推進してきた。それには、構造物同士の干渉の確認精度を高めて実施することが要求される。これまでは、CADを活用しながら筐体側とプリント基板側の構造を組み合わせた形で干渉有無を確認した際に、設計者のスキル差によって、その後に行った実機での初回検証で品質的な差異が生じた。すなわち、同じ完成体と見なされたデータに対して干渉確認しても、プリント基板への部品搭載、装置の組み立て、装置の保守といった実作業の流れ、実際の操作を想定できる設計者と完成した静止状態でのみ確認する設計者とでは精度が異なっていた。

そのため、設計者の誰もが構造を理解・検証できるように製造、組み立て、保守時の手順に沿った状態を見える化できる仕組みが必要になってきた。

● 施策

富士通では、サーバ筐体構造は3次元CADベースでの設計を、部品配置、配線を含めプリント基板は2次元CADベースでの設計を行っている。ここで、従来DMU（デジタルモックアップ：仮想的な試作機）による検証に用いてきた3次元データのビューアーであるVPSの機能を拡充し、双方のCADデータを立体的に可視化できるようにした。これにより、装置の電気系と構造系を一体化して見る机上検証を可能とした。

この機能および検証方法の代表的なものとして、以下が挙げられる。

- (1) 実際の組み立て手順どおりに、組み立て状態を表示し、部品の可動範囲を確認できる。レバー操作時の機構部分における干渉レビューの例を図-2に示す。
- (2) ユニットや筐体の組み立て、保守作業時のレバーなどの可動範囲を可視化できる。
- (3) 部品やユニットの嵌合状態の詳細は、断面表示で確認できる。
- (4) 組み立てや保守作業のしやすさ、しにくさなどの人の感性に関わる検証を、社内で新たに定義した感覚基準値を使用し、定量的に判断できる。

これらの方法により、ユニットや筐体を試作する前に、設計、製造、組み立て、品質保証、および保守の全ての部門で机上レビューを実施し、製品設計へのフィードバックを行った。

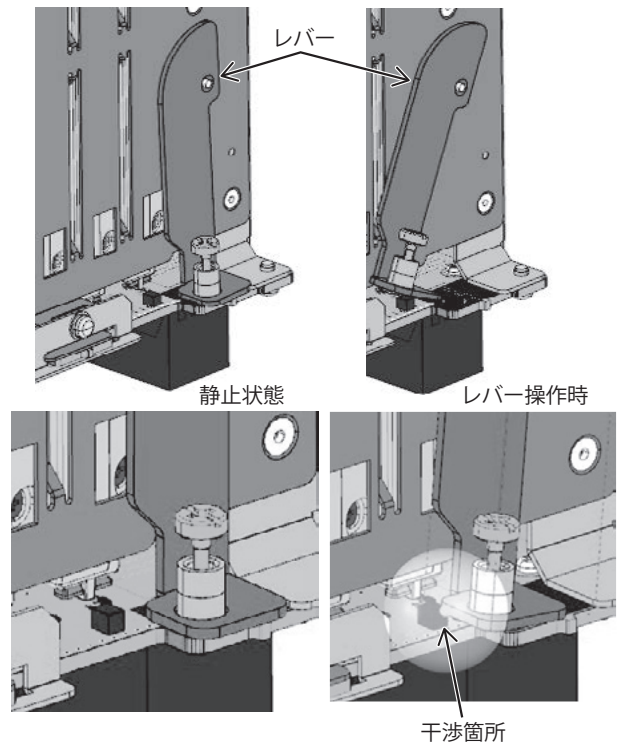


図-2 機構部分の干渉レビュー例

従来は、プリント基板のCADデータと筐体のデータを併せてVPSで検証できたが、検証の指摘事項、検討結果のデータを連携させることは困難であった。今回、ノウハウデータベースであるVPS Knowhow Shareの機能を強化することで、複数部門での検証内容の共有が可能となり、効率の良いレビューが実現できた。

● 実施例

(1) 筐体・ユニットのVPSレビュー

まず、筐体板金の組み立て手順や、ユニットの取り付け・保守手順の流れを設計部門が説明後、製造工場、保守、品質、実装構造、プリント基板配線設計の各担当がVPSで確認し、懸念点・改善事項についてVPS Knowhow Shareに入力する。次に、実装構造部門内で内容を確認し、デザインレビューにおいて対策の可否を判断する。

(2) 搭載部品を含むプリント基板のVPSレビュー

保守単位ごとに筐体板金との干渉を中心に確認するため、筐体板金データにプリント基板側データを重ねたVPSを使用する。検証ポイントには以下が挙げられる。

・板金と、プリント基板上の部品パッド、ヴィア（層

間を接続するために用いられるメッキを施した孔)のランド、配線パターンおよび搭載部品とが干渉するかどうか。

構造部品、電子部品との干渉有無を検証した例を図-3に示す。

- ・筐体板金と近傍のプリント基板上の部品パッド、ビアのランド、配線パターンが基板、筐体を振動させたときに干渉するかどうか。
- ・作業者の死角に部品があり、組み立て時に手や工具でプリント基板を保持するときに実装部品を圧迫するなどして、部品を破損させないか。
- ・部品のピンなどが基板裏面に突出しており、作業中に手を負傷する恐れがないか。

こうした検証レビューは様々な視点から確認でき

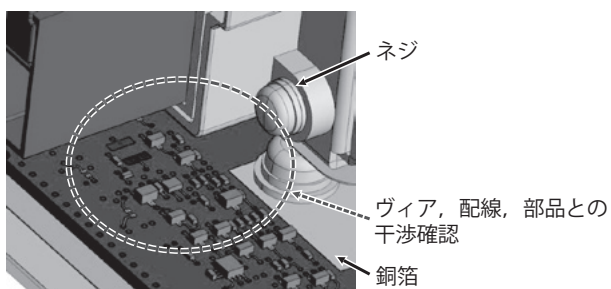


図-3 構造部品・電子部品との干渉有無の検証

るため、プリント基板配線から筐体構造に至るまで、電気系と構造系との設計境界部でのレビューの質が高まる。これにより、設計検証の時間を短縮し、効率的な高密度実装の装置開発を実現している。

● 今後の取り組み

過去から将来に向けた3次元形状の活用の変遷を図-4に示す。現行の3次元CADでは、概略形状でしか表現されない。概略形状は複雑な部品を包含した2次元の部品形状の柱で表現されているため、リアル形状より大きくなる。このため、概略形状を用いて高密度に設計した場合でも実物には余分な領域ができてしまい、正確な干渉チェックが困難である。これを回避するためには、概略形状からリアルな3次元モデルを作成しなければならないが、人手による作業が必要である。また、可動部分の動きを再現するため、自重や重心などの重さの要素も加えたレビューが必要である。これらのレビューにより、実際の組み立てや保守作業のしやすさが検証できる。

これらを踏まえ、現在開発を進めている統合プラットフォームでは、リアルな3次元モデルへの自動置き換えを可能とする。これにより、実形状に近い形で設計時の机上レビューが可能となることから、更なる高密度実装を目指すとともに、実機

検証レベル	2次元 (平面形状)	3次元 (概略形状)	3次元 (リアル形状)
1 過去	ネジ穴 上面視部品外形	無	無
2 現状		自動 ・概略形状を自動作成	無
3 現状 (一部)		自動 ・概略形状を自動作成	人手 ・リアル形状へ人手で置換
4 将来		自動	自動 ・部品ライブラリより自動置換 ・部品ライブラリ整備 ・2次元/3次元整合

図-4 3次元形状の活用の変遷

レビューでの「設計修正指摘ゼロ」により、手戻りをなくすことを目標としている。

設計データ連携強化による開発工数削減

本章では、3次元CADを活用した更なる工数削減、徹底した事前検証、および各種解析ツールとの連携強化を実現するための新たな取り組みである、3Dアノテーション（以下、3DA）を紹介する。

● 背景

富士通では、1995年頃からサーバ装置の開発に3次元CADを導入することによって、開発の効率化、設計品質向上を推進してきた。更に、各種解析や検証ツールとの3次元データの連携を実現し、デザインレビュー、設計検証、試作および量産との連携の仕組み（ツール改善、手順策定）を構築した。これにより、設計効率化と、開発リードタイム削減、および開発量削減を行ってきた。

一方で、市場規模の大きい電機業界、自動車業界においても、3次元CADによる設計が主流であるが、どちらの製造工程においても長く培った製造ノウハウが加えられた2次元図面の方が受け入れられやすい。しかし、一般的に2次元図面を作成する工数はICT製品の全設計工数の30%前後を占めており、設計工数を確保し付加価値を向上させるためにも、2次元図面の作成工数の削減が必要不可欠となってきた。

上記の課題を解決するために、3DAを用いた

設計プロセスの改革に取り組んでいる。3DAの活用は、形状の寸法や公差、テキストによる注釈、表面仕上げの方法、材料の仕様など、製造に必要な情報（PMI：Product Manufacturing Information）を3次元モデルに埋め込むことで2次元図面をなくし、開発と製造の効率化を実現する。日本自動車工業会（JAMA）および電子情報技術産業協会（JEITA）においても、3次元データを活用した設計・製造連携を考慮した3DAの運用ルール作りを検討している。

● 富士通の3DAと期待効果

富士通では、サーバ製品開発において3DAを導入し、上記運用ルールを考慮した先行的な取り組みを開始した。

2014年度に、JEITAの3DAガイドラインの調査、市場動向の把握、および3次元CADの機能検証を行い、当初の取り組みとして小規模部品で3DAの有効性を確認するトライアルを実施した。

図-5は設計から製造への設計情報の流れにおいて、従来の2次元図面による設計と富士通が取り組んでいる3DAの違いを示したものである。従来の設計では、3次元モデルから2次元図面を作成し、2次元図面上に寸法情報を全て入力して、紙媒体またはPDF形式の電子データで製造部門と検査部門へ配信していた。しかし、3次元モデルに特殊な設計条件を埋め込み、各工程でこれらの設計条件や寸法確認用の3次元ビューアツールを整備する場

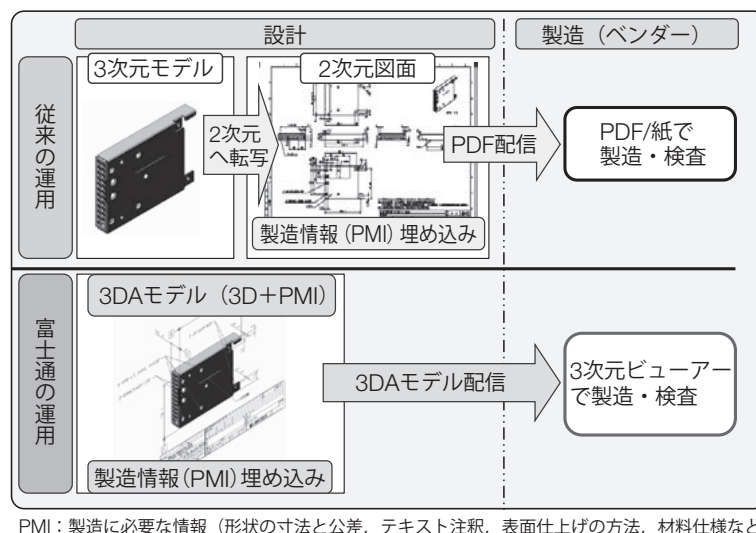


図-5 3DAの運用

合には、3次元モデルで配信するプロセスが必要となる。富士通の3DAは、PMIを埋め込んだ3次元モデルを製造部門と検査部門へ配信し、ものづくりを行うものである。2次元図面を用いる従来の設計に対して、富士通の3DAに入力するPMIは、基準位置、公差の必要な箇所、特殊な作業指示などの限られた情報のみで十分であり、入力情報の削減が可能である。

3次元データに全ての情報が網羅されることで、設計情報を一元管理できる。これにより、製造ベンダーを含めて設計から製造までの情報を共有し、図面作成工数と製造リードタイムを削減していく。

● 今後の取り組み

現在、3DAの手順書の作成、運用ルールの整備を進めるとともに、製造、検査、品質保証などの後工程部門と協調し、3DAの閲覧方法、ツール類の整備を経て次期サーバ製品への適用を進めている。一方、3DAのツール全体のブラッシュアップも継続的に行っていく必要がある。現在、JEITAを経由して3DA作成の効率化を図るためのツールの機能拡張をCADベンダーへ依頼しており、新機能などを鋭意開発いただいている。

3DAの普及を加速するためには、製造ベンダーと自社工場とのデータ連携強化が必要である。そのために、製造設備や製造システムとの連携を実現していく。

ものづくりの仕組みを変革する開発環境を実現するためには、3DAで作成するPMIを最小限にし、3DAの情報を製造・検査を含めた各工程で正確に連携する必要がある。また、設計の意図を正確に製造工程に伝達するためには、幾何公差を取り込む必要がある。現在、富士通ではJEITAでの推進状況に基づき、幾何公差の定義方法の検討を進めている。今後、3DA作成工数削減、ベンダーを含む製造、および検査部門を含めたデータ連携の仕組み作りを進めていく。

上流設計品質向上のための解析の活用

富士通は、1993年からサーバ装置開発に向けた各種解析に取り組んでいる。当初は、設計課題や問題解決に注力していたが、3次元CADの普及に伴い利便性の高い解析ツールが新たに出現し、装置開発での使用が定着してきた⁽⁴⁾。本章では、サーバ

装置の開発プロセス改善に向けた各種解析の効果と、今後の新たな取り組みについて紹介する。

● 構造解析工数の削減

サーバでは、プリント基板ユニット同士のコネクター嵌合部をはじめ、電子部品とプリント基板のはんだ接合部の信頼性、板金などの薄肉・軽量化や保守時の操作による変形、および応力による破損が課題となる。したがって、設計リードタイム削減のためには、設計段階でこれらの課題を抽出し解決する必要がある。しかし、サーバの構造解析は、多数の部品が複雑に組み合わさった装置一体の解析となるため、従来10日以上解析日数がかかっており、解析の効率化が必要となる。そのために、3次元CAD形状からのモデリングにおいて、力学的整合性を維持しながらメッシュ分割を簡素化している。ここでの問題点は、人手で行うモデリングのばらつきが解析結果に影響することである。これを解決するために、解析エンジニアが主体となってモデリングノウハウを抽出してデータベース化しながら共有化した。特に、3次元CADデータの形状処理の自動化と、締結部を中心とした筐体レベルのモデリングの規定作成を行った。

変形解析における工数半減の取り組み状況を図-6に示す。これらを講じることで、サーバ筐体の変形解析では、部品点数約500点、メッシュ数300万のモデルで作業日数が10日強から5日強となり、モデリング品質の均一化が図られた。

富士通では、装置一体での解析でより多くの解析ジョブが投入できるよう、自社向け専用の大規模ソルバーの開発と、解析ジョブ実行時間の短縮を目指し、CADツールと解析ツールの一体化環境によるサーバ装置開発に取り組んでいる。今後、更なる部品点数の増加を想定し、解析作業工数の削減を図っていく。

● 公差解析の適用

サーバ装置開発においては、プリント基板ユニット同士のコネクター嵌合や組み立てにおける精度の高い位置決めなどを確実にする必要がある。このため、寸法に大きな公差ばらつきのある部品同士を組み立てた際の全体のばらつきを計算しながら、嵌合の良否を確認している。特に、治具による組み立てを考慮し、回転、移動を含めてどの公差が大きく影響するのか、見える化を進めながら

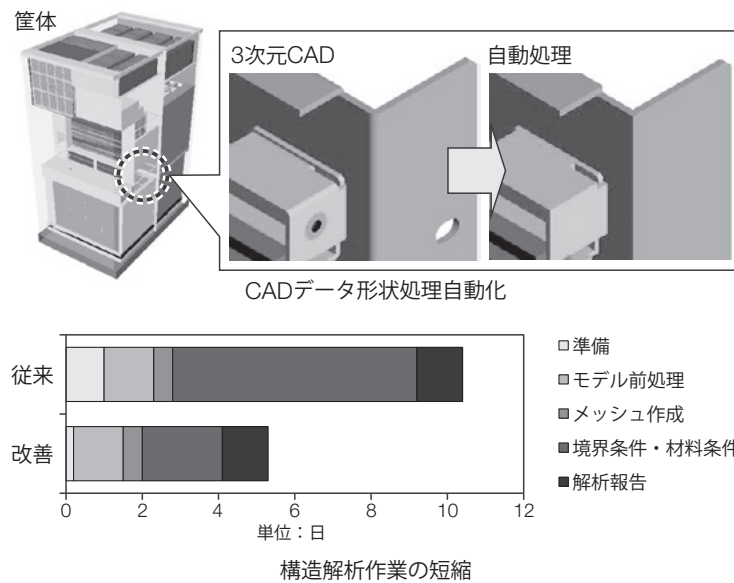


図-6 変形解析での工数半減

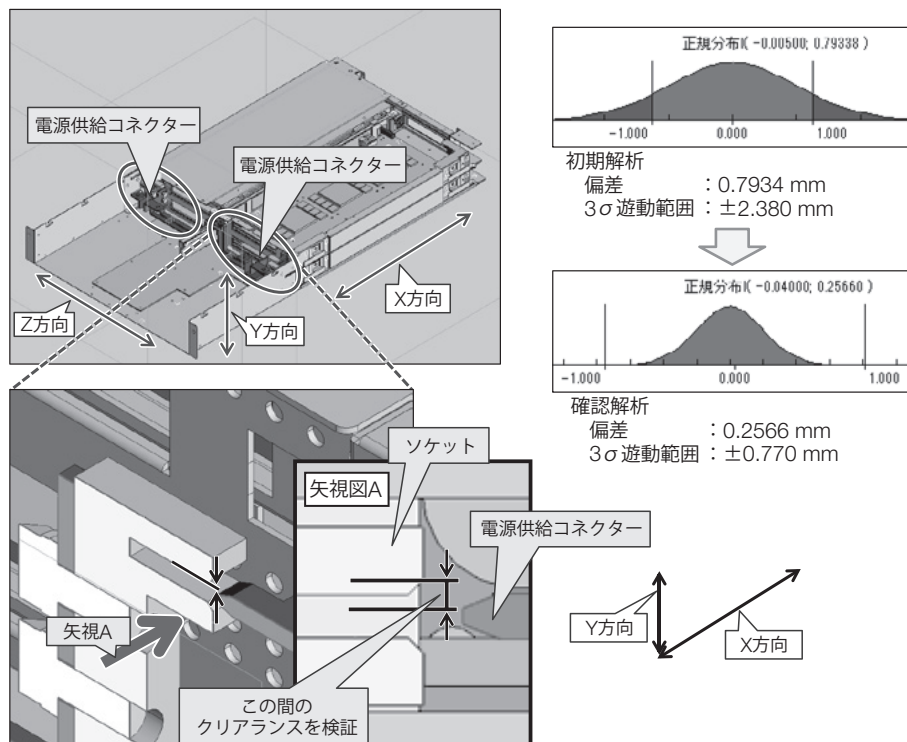


図-7 公差解析の適用事例

最適な公差を決めている。

図-7は、メインプリント基板挿入時における電源供給コネクタの位置精度検証の過程を示したものである。初期設計では、プリント基板側の寸法公差が大きくY方向の累積ばらつきが大きくなったが、コネクタ嵌合部の角度を90度回転させるこ

とによってX方向累積に切り替えて低減できた。また、コネクタの嵌合性、部品同士の干渉が設計段階で見える化できたことにより、工場での装置組み立て工程の不良による手戻りを低減している。

公差解析自体は、従来の手法では50部品、X、Y、Zの並進3軸とも個別での解析検証で2か月を要して

いたが、専用の公差解析ツールを活用することで、50部品、X、Y、Zの並進3軸と各軸まわりの回転方向3軸の計6軸同時での解析検証が5日間まで短縮でき、コネクタ嵌合、組み立て精度の検証効率化に大いに貢献している。

現状の公差解析ツールには部材の変形を取り込むことができないため、CAD上で変形した形状を作成しなくてはならない。今後は、公差解析と変形解析を連携させることによって、部材間の干渉検証の精度向上を図っていく。

● 振動解析

サーバ装置の振動によって生じる不具合として、応力増加による筐体フレーム間の締結部の破損やコネクタの脱落、電子部品のはんだ接合部の破損が挙げられる。このような不具合を防ぐためには、振動時の変形モードや応力の検証手段として、振動試験実施前での解析が必要となる。

振動解析は、従来は外枠のフレーム部材間の締結部における応力の低減対策を講じてきた。近年、高密度実装の進展により部品・ユニット点数とともに締結部も増加傾向にあり、外枠のフレーム部材間のみならずユニット締結部の状態を解析する必要が生じてきた。そこで筆者らは、筐体、ユニットとも詳細なモデル化による解析で、低次振動モー

ドの洗い出しや、コネクタ脱落が起きやすい振動モードを推定する手法を採っている。図-8に示すとおり、低次の振動モードがコネクタ脱落に結び付きやすことが分かった。これにより、これまで解析できていなかった振動による締結部の挙動を明確にすることができた。

こうした振動解析は、ICT製品では携帯電話（スマートフォン）の落下対策でこれまで実用化されていたが、部品点数が多いサーバでも振動解析が適用可能になり、振動試験で起こり得る挙動の検出率が向上した。

今後は、部品点数が数百点となる実機レベルの振動試験で行うべき項目を洗い出すと同時に、振動試験・検証の効率化を図る。具体的には、振動解析で問題発生が想定される箇所を絞り込み、振動試験で加速度を測定すべき加速度センサーの位置を決定するなど、振動試験の質の向上を目指す。また、振動解析をより迅速に行いながら実用性を追求するためには、ラックモデルなどをあらかじめライブラリ化して、モデリング作成工数を短縮し、解析工数を半減以下にする（2か月→2週間）ことなどが挙げられる。

● 複合解析（構造→熱連携）

冷却性能向上に対する課題の一つとして、発熱

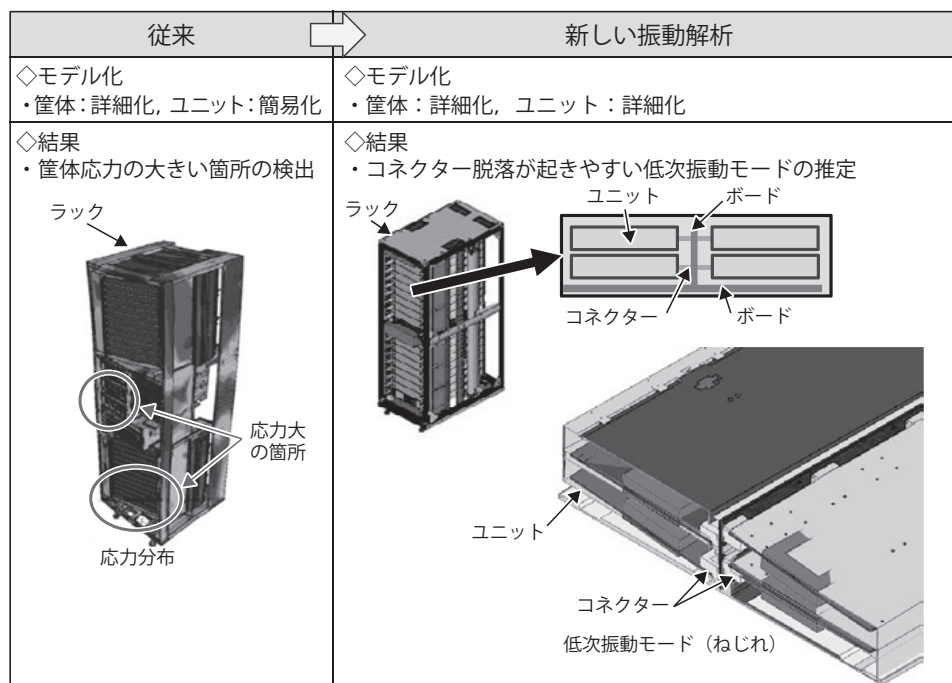


図-8 装置一体振動解析

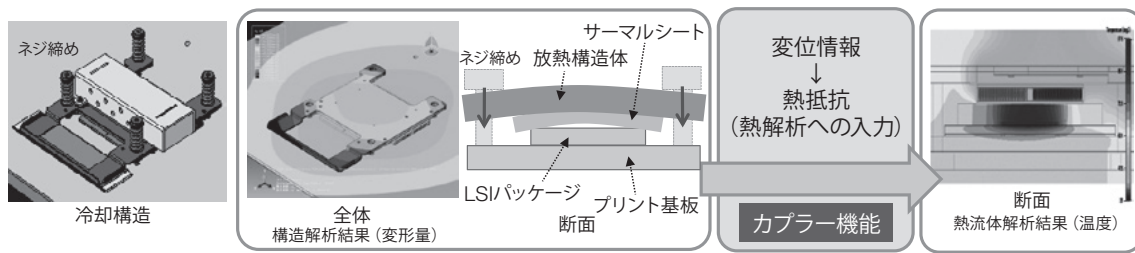


図-9 複合解析の流れの例(構造→熱の連携)

量が増加傾向であるLSIパッケージと放熱構造体とを接続する接触熱抵抗の低減が挙げられる。接触熱抵抗を支配する要因は、熱接合剤の材料物性値やその厚さのばらつき、組み立て時のネジ締め付け荷重のばらつきが挙げられ、更に冷却系全体の熱抵抗において、接触熱抵抗の占める割合が高まる傾向にある。

従来、構造体の変形が接触熱抵抗に及ぼす複合的な影響を解析するには、時間をかけて実機検証を行う必要があった。これを机上で検証する手段として、構造と熱の複合解析に取り組んだ。

複合解析による検証を短時間で数多くこなすため、構造と熱の解析ツール間の自動連携が必要となる。富士通では、構造解析と熱流体解析の間の自動連携ツールとして、双方向連成のプロセス（温度が一定になるまで繰り返し計算）に基づき、熱接合部の変形度合と熱抵抗を関係付けたカプラーを開発した。このプロセスを図-9に示す。そして、熱接合剤としてサーマルシートを用い、これをLSIパッケージと放熱構造体との間に挟み、ネジ締め荷重を付与したときのLSIパッケージの温度を推定する解析によって検証した。その結果、構造解析約150万メッシュ、熱流体解析900万メッシュの規模で、15のケースの解析に従来手法では1か月以上を要していたものが、約9日で検証できた。解析結果は実測でも再現性があり、ネジ締めのトルクが強いと熱接合部が剥がれることも判明したことで、許容できるネジ締めトルクを見出すことができた。

今後、こうして得られたネジ締めトルクを組み立て工場での作業規定へ反映する。また、工場での組み立て工程や熱接合部分の厚さ、それらの物性値など、熱抵抗のばらつき要因とその寄与率を考慮した解析を行い、熱設計検証手番の短縮を図っていく。

解析プロセスは、構造解析から熱解析への連携となる。現在、自社向け専用の大規模ソルバーの開発と並行して連携機能を開発しており、設計フィードバックのスピード、規定温度内となるLSIパッケージの冷却構造設計への反映を目指している。更に、今後の目指す姿としては、電気回路・電磁界・光導波路・熱流体・熱応力の分野での複合解析環境の構築を目指していく。

む す び

本稿では、プリント基板・サーバ装置筐体の設計検証において、製造・組み立てから保守に至るまでよりリアルな形状を扱える机上検証を3次元CADと各種解析を活用して開発の上流で行うことによって、開発工数削減を目指した技術とその適用状況について紹介した。

今後の取り組みとして、3次元CADと各種解析を最大限活用し設計検証を充実化するとともに、更なる効率化に向けて、CADやシミュレーションデータを一元的に活用する。例えば、CADデータを加工することなくシミュレーションデータを生成する完全自動化モデリングシステムなどが挙げられる。これらの3次元CADや解析の活用により、設計品質向上および設計リードタイム短縮を強力に推進し、QCDの革新とサーバビジネスの拡大につなげていく。

参考文献

- (1) 佐藤正之ほか：機構評価の技術改革とフロントローディング。FJITSU, Vol.58, No.4, p.328-333(2007). <http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol58-4/paper08.pdf>
- (2) 鶴塚良典ほか：グリーンIT化の電源・冷却・筐体技術。FJITSU, Vol.61, No.6, p.549-554 (2010).

<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol61-6/paper06.pdf>

- (3) 前田秀樹ほか：スーパーコンピュータ「京」のシステム実装技術. FUJITSU, Vol.63, No.3, p.265-272 (2012).

<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol63-3/paper06.pdf>

- (4) 山岡伸嘉ほか：構造・熱流体シミュレーションとCAD連携事例. FUJITSU, Vol.63, No.1, p.95-100 (2012).

<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol63-1/paper16.pdf>

著者紹介



山岡伸嘉 (やまおか のぶよし)

富士通アドバンステクノロジー（株）
構造技術統括部
ICT開発を支えるシミュレーション技術開発, 環境構築, 製品設計適用に従事。



山口敦規 (やまぐち あつき)

アドバンスシステム開発本部
実装技術開発統括部
サーバ装置の実装構造開発に従事。



河野香代子 (かわの かよこ)

エンタープライズシステム本部
基幹サーバ事業部
エンタープライズサーバのプリント基板開発に従事。



内倉洋二 (うちくら ようじ)

富士通アドバンステクノロジー（株）
Eサービス推進室
3次元CADおよびICTツールを活用する技術開発, 開発環境の構築に従事。