

構造技術の研究

Researches on Space Structural Technology

衛星搭載アンテナの軌道上熱歪評価を支援する解析技術

Evaluation Techniques for Thermal Distortion of Antenna Subsystem

システム評価技術グループ 内田英樹、小谷政規

Space Systems Evaluation Engineering Group,

Hideki UCHIDA, Masaki KOTANI

Abstract

Multidisciplinary techniques for evaluation of thermal distortion and radio frequency analysis on a satellite antenna subsystem development have been investigated. The techniques are based on iSIGHT™ optimization software that integrates automatically standard design tools for thermal, structural and antenna pattern analysis for space structure development. As a result, the worst case of the radio frequency performance as the subsystem spec can be obtained numerically as an optimal solution by the software.

1. はじめに

本研究は、機構の衛星搭載アンテナサブシステム設計における軌道上熱歪量評価を確実かつ迅速に行うことを目的として、平成15年下期より実施している。システム評価技術グループでは、航空宇宙業界ではスタンダードとなっている熱・構造・通信解析ツールの機能等を分析評価し、それらを効率的に自動統合化する解析システムの実現性を検討した。

2. 研究の概要

平成15年度下期は下記の項目について研究を行った。

(1) 最適化手法を用いた軌道上熱歪量評価技術の検討

機構の衛星搭載アンテナサブシステム設計では、通常以下の3段階の解析シーケンスを図1のようなフローを経て最終的な通信性能の評価が行われている。

A. システム熱解析 (解析ツール Thermal Desktop : プリソフト AutoCAD 輻射解析 RADCAD 伝熱解析 SINDA)

B. アンテナ熱歪解析 (解析ツール Nastran : プリソフト FEMAP もしくは PATRAN 等)

C. アンテナパターン(RF)解析 (解析ツール GRASP)

各解析間で RF 性能として最悪になると予想されるケースをある評定に基づいて選択し、解析結果を次解析シーケンスの入力として使用している。例えば、解析 B に入力する温度分布は解析 A で熱歪最悪ケースと予想されるものであるが、その選定は熱設計者のセンス

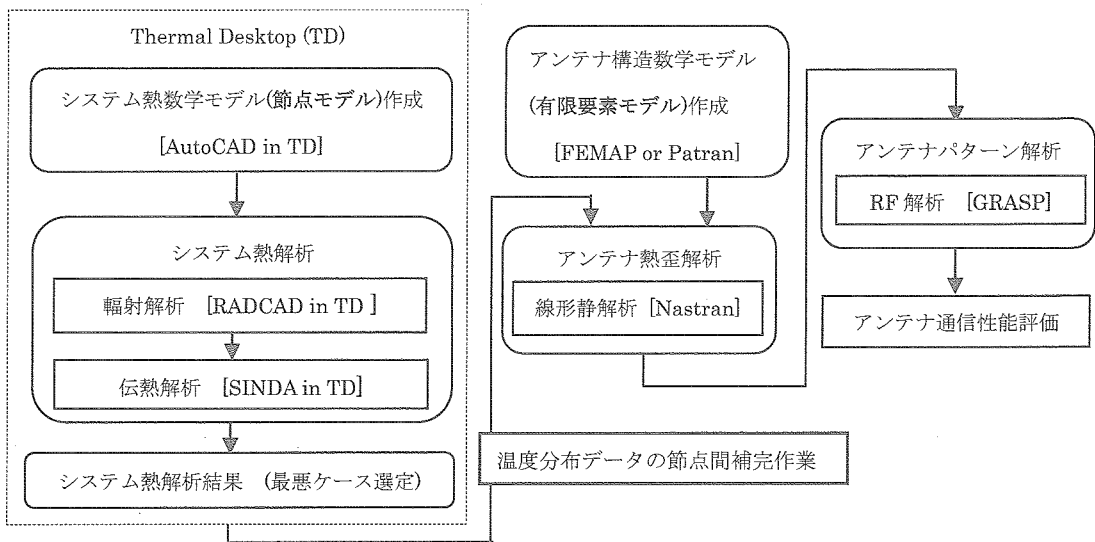


図1 従来の熱歪評価の解析シーケンス

に依存するものであるため、必ずしもサブシステムのスペックの RF 性能としての最悪ケースが選定されている保障はない。

従来、アンテナサブシステム構造設計では構造設計者に鏡面精度(rms 値)として設計要求が課せられるが、鏡面精度よりむしろアンテナサブシステムのスペックとしての RF 性能が満足するように規定されるべきである。そして、各解析シーケンスにおける解析ケースを選定する上で、設計者に十分な経験がない場合には、多くの仮定と明確な裏付けがない推測等が設計段階で入ることは、信頼性を低下させる要因となるために避けるべきである。特に、アンテナサブシステムのビーム方式、アンテナタワー形状、衛星軌道が特殊な場合には、熱設計者は最悪ケースの選定を誤る危険性があり得る。

そこで、最悪ケースの候補を自動的に選出し、その情報をサブシステム設計者にフィードバックして、解析ケースの見直しを確実にかつ迅速に行うことが可能となる統合最適化ツール iSIGHT を利用した発想支援システムの実現性を検討した。ここで iSIGHT とは、設計で用いられるプログラムを統合化し、最適化手法を組み合わせ、設計における多くの要求を満たした上での最適解を求めるまでの設計プロセスを自動化できる市販ソフトウェアである(参考文献 1)。

(2) 熱・構造・通信解析用ハイブリッド数学モデルの構築手法

熱・構造・通信解析の自動統合化を実現するためには、各解析シーケンスにおける入出力結果の処理について、マニュアルの加工作業が必要となる要因を完全に排除が必要がある。そのためには、数学モデルが各解析シーケンスで共通的に使用され、自動的に入出力が行える必要がある。

平成 15 年度下期は、熱数学モデルと構造数学モデルに関して熱歪評価に必要な部分構造の数学モデルを共通化することで、自動統合化実現に向けての検討を行った。

3. 成果の概要

(1) 最適化手法を用いた軌道上熱歪量評価技術の検討

iSIGHT を適用するには、各解析シーケンスにおいて入力テキストファイル、解析プログラム実行ファイル、出力テキストファイルがそれぞれ明確に存在しなければならない。ここで、問題となるのは熱解析ツール Thermal Desktop の輻射解析プログラム部分の RADCAD では GUI 操作による入力しかできないパラメタが存在することである。平成15年度下期の調査の結果、この操作をスクリプト化してテキストファイルにまとめてバッチ処理によって GUI 操作を実行できるプログラムソフトとして WinBatch, Visual Test, UMWC が存在することが分かった。今後、試行試験を行い、本自動化プロセスに最適な GUI 操作プログラムをこの中から選定する。

iSIGHT を利用してアンテナサブシステムの設計を行う際には、「RF 性能として軌道上で最悪となるケースを選ぶ」という事象を最適化問題として、数学的に定式化する必要がある。アンテナサブシステムの設計問題を最も理想化かつ単純化して考えて、アンテナピーク利得が最小となるケースを最悪ケースと定義する。この最悪ケース探索問題は「アンテナピーク利得が最小となる軌道要素を探す」という事象に帰着でき、数式的に次式の非線形最適化問題として表現することができる。

$$\underset{f, \phi}{\text{Minimize}} J \equiv G(f, \phi) \quad (1)$$

ここで、 J は本最適化問題で最小化されるべき評価関数で、最終的な RF 解析から得られたアンテナパターンのピーク利得 G である。 f, ϕ は軌道パラメタで、本最適化問題の設計変数である。式(1)の非線形最適化問題を iSIGHT を用いて f, ϕ の最適解を数値的に得ることによって、最悪ケースの候補を選出することができる。本解析のフローを図2に示す。今後、本自動化プロセスをさらに検討する。

(2) 熱・構造ハイブリッド数学モデルの構築手法

通常、熱数学モデルは節点モデル、構造数学モデルは有限要素モデルで作成されており、設計者もそれぞれ異なるために、数学モデルも異なる。そのため、節点座標位置が一致しないので、構造解析の際に入力する温度荷重分布をデータ化するために熱解析結果を節点間でマニュアルで補完する加工作業が必要となっている。

平成15年度下期は、図3の箱型主構体とパラボラ型アンテナレフレクタを有する単純な衛星モデルをもとに、円軌道を想定してフィージビリティを検討した。衛星モデルの熱数学モデルでは、主構体を ThermalDesktop のプリソフト AutoCAD で節点モデル(図4)として作成した。また、レフレクタを FEMAP で有限要素モデル(図5)として作成することで、レフレクタについては熱数学モデルと構造数学モデルとを共通化することができた。本研究ではこれをハイブリッドモデルと呼称し、その生成フローを図6に示す。これにより、熱解析結果であるレフレクタ温度分布をマニュアルの補完作業無しで構造解析の入力として使用することが可能となった。例として、軌道位置 180° のときのレフレクタ

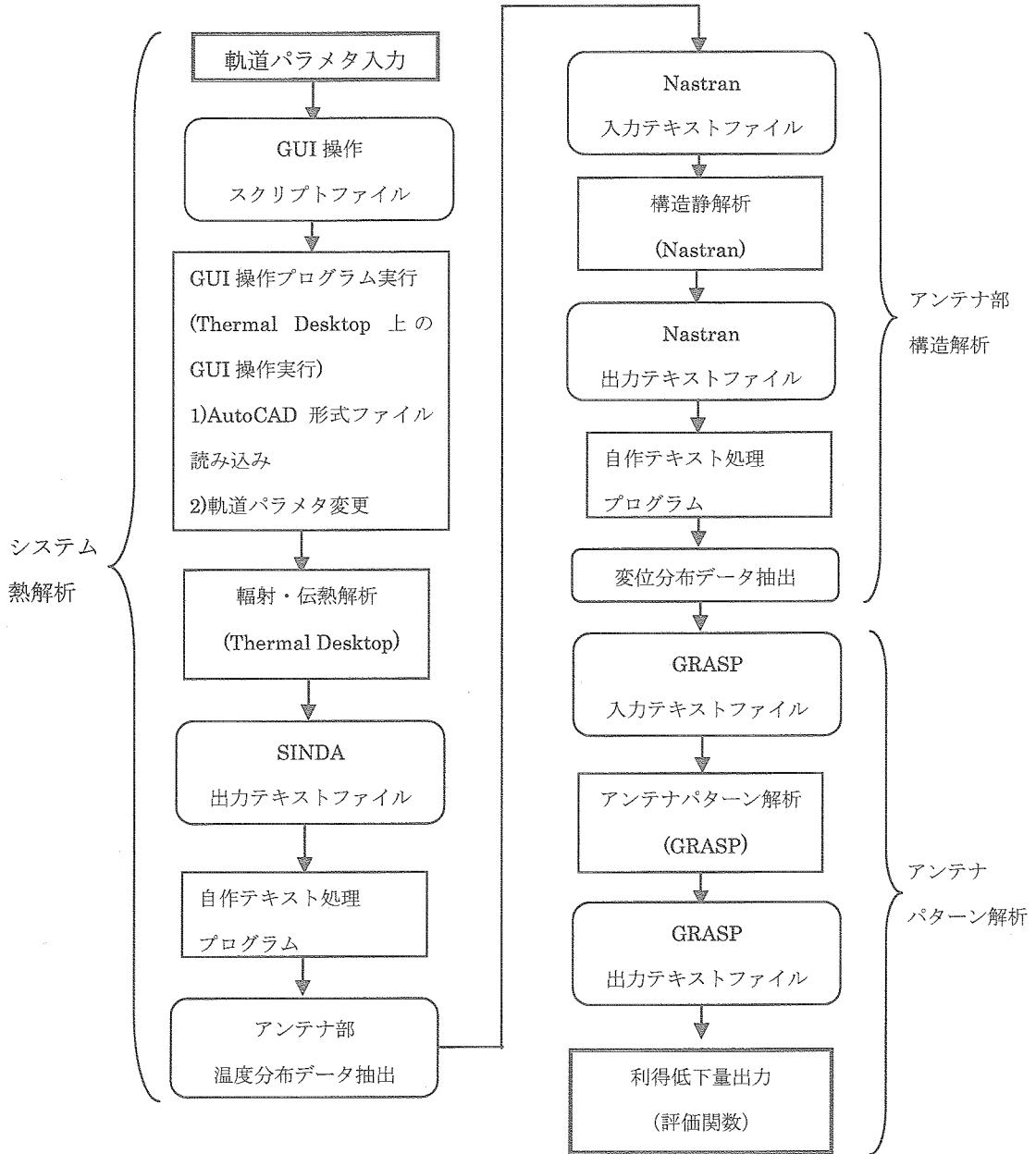


図2 iSIGHTにより自動統合化された解析シーケンス
(入力：軌道パラメータ 出力：利得低下量)

の温度分布を図7に、熱歪変形図を図8に示す。今後、アンテナタワー部の構造等の影響も考慮し、通信系解析モデルまで含めたモデル化の検討を行う。

4. まとめ

機構の衛星搭載アンテナサブシステムの軌道上熱歪量と通信性能の評価を迅速かつ確実に実施するために、設計に使用されている最悪ケースの妥当性評価が可能となるiSIGHTを利用した解析システムの実現性を検討した。

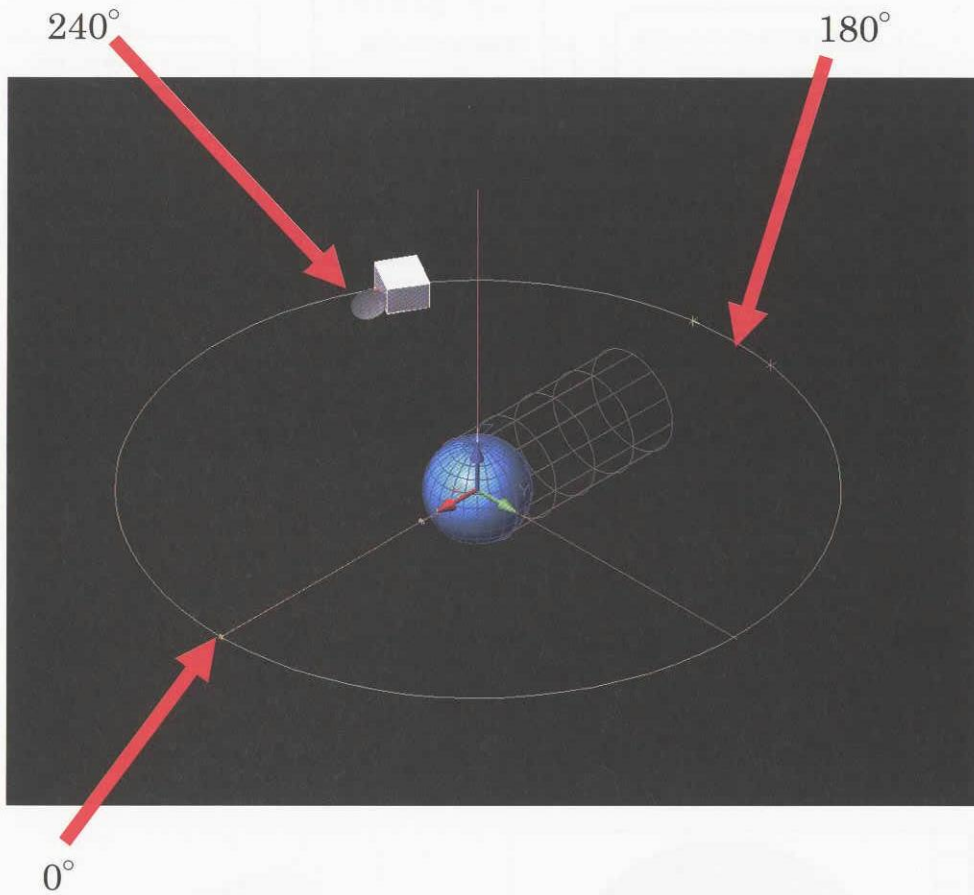
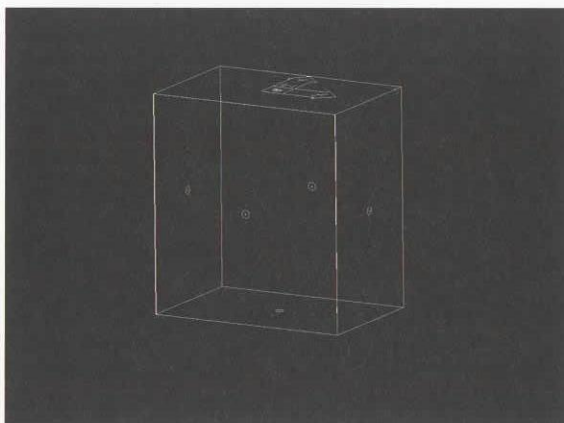


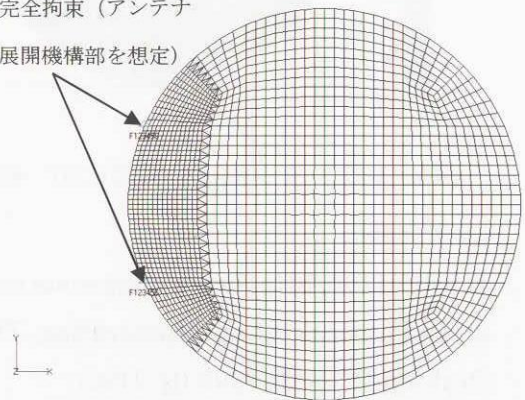
図3 システム熱解析に使用した円軌道



6 節点 6 要素

図4 衛星主構体熱数学モデル
(節点モデル)

完全拘束 (アンテナ
展開機構部を想定)



全要素数 2030 拘束点近傍:728 要素
(周方向 52 分割,半径方向 14 分割)

図5 レフレクタ構造数学モデル
(有限要素モデル)

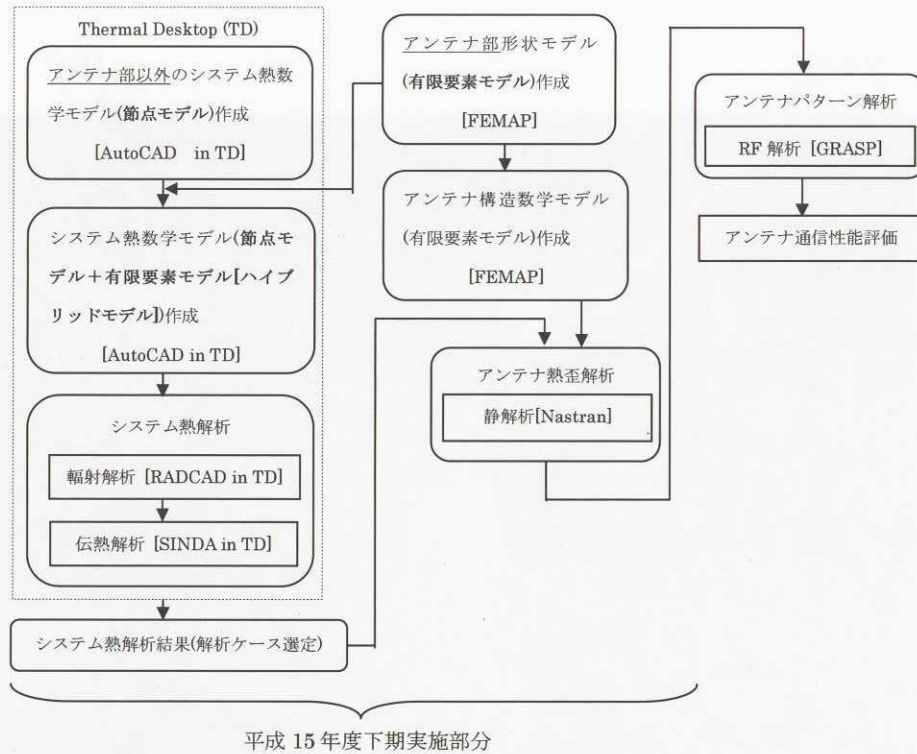


図6 ハイブリッドモデルの生成フローと解析シーケンス

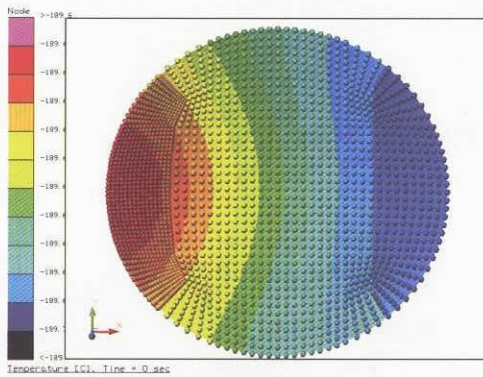


図7 レフレクタ温度分布図(180° 軌道上)

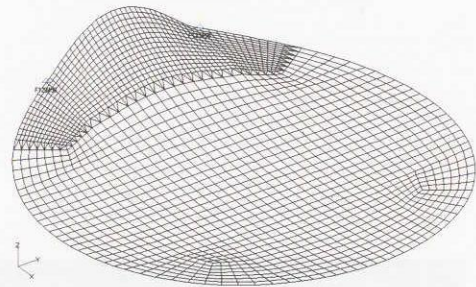


図8 レフレクタ熱歪変形概要図 (180° 軌道上)

[参考文献]

1. iSIGHT®, <http://www.engineous.com>
2. T. Pamczak et.al, “Integrating Thermal and Structural Analysis with Thermal Desktop™” SAE 1999-01-2126
3. B. Cullimore et.al, “Automated Multidisciplinary Optimization of a Space-based Telescope”, SAE 02ICES-041
4. B. Cullimore et.al, “Integrated Analysis of Thermal/Structural/Optical Systems”, SAE 02ICES-040