

Femap ソリューション

熱解析事例－熱輻射解析

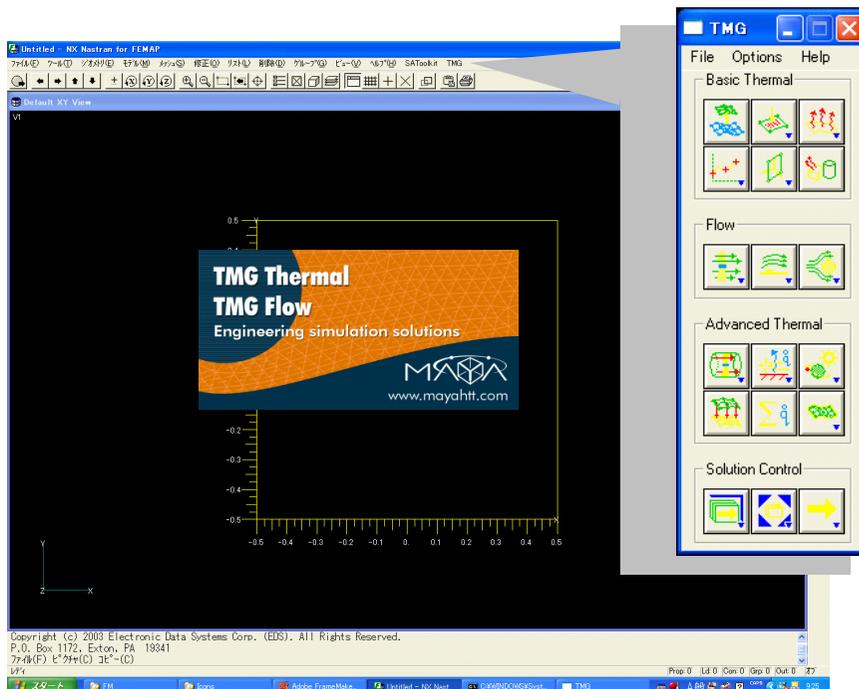
Femap/Thermal

Femap/Thermal は、**Femap** シリーズへの追加モジュールとしてアドオンされた汎用熱解析ソリューションです。**Femap/Thermal** は著名な熱解析プログラム **TMG** (Thermal Model Generator) のサブセットであり、その有限差分法解析ソルバー **TMG** を **Femap** と高度に連携した製品です。**Femap/Thermal** は、数値計算エンジンに超高速共役勾配法を用いており、**Femap** の使いやすさをそのままに、快適でスピーディーな作業環境を、Windows マシンにお届けします。

すでに有限要素法構造解析プログラムをお持ちの方は、**Femap/Thermal** によって従来困難であったような輻射や自然/強制対流を伴う高度な熱解析機能をきわめてリーズナブルな価格でご利用いただけます。また、熱のスペシャリストの方には、従来、視覚的表現が弱く、経験と勘に頼っていた熱数学モデルの作成を **Femap** の高度なビジュアル機能で一気に合理化します。そして複数の解析プログラムを連携させなければならなかったような複合的な解析もこれ一本で解決します。

Femap は 30 を超える解析プログラムとダイレクトにインターフェイスできます。過去の解析資産を再活用し、複数の解析プログラムへのフロントエンドとして、共通のモデリング/ポスト処理環境を利用することができるのです。

Femap/Thermal には、通常の **Femap** マニュアルの他に、当社オリジナル日本語マニュアルが標準で付属します。この中には要素や解析機能に関して日本語で詳しく説明しています。



Femap/Thermal の起動時画面

Femap / Thermal の構成

エントリクラスの **Femap / Thermal** と最先端機能を満載した **Femap/Advanced Thermal** の二つのオプションをご用意しました。

Femap/Thermal

熱解析エントリモジュール

Femap/Thermal は **TMG** の基本機能をコンパクトにまとめた製品です。

○ 熱伝導解析機能

固体熱伝導モデルを定常/非定常で解析できます。熱伝導率や比熱、密度などが温度依存でも定義できます。さらに相転移や直交異方性のある熱伝導材料を取り扱えます。

○ 熱輻射解析機能

散乱面のみであれば、形態係数を計算し熱輻射リンクを算出することができます。形態係数計算は、ヌッセルト半球投影法と遮蔽チェック計算によってシステムティックに行われます。熱輻射リンクの計算には、Oppenheim 法、Gebhardt 法が選択できます。

○ 熱結合機能

近接するメッシュ間に面積比例や距離を考慮した様々な熱結合リンクを自動的に生成し、熱コンダクタンスを計算することができます。熱結合計算はメッシュが不整合でも合理的に処理され、伝導、輻射、伝達で熱結合を生成することができます。

○ 自然対流熱伝達

テーブルや公式の形で対流境界条件を与えることができます。

Femap/Advanced Thermal

熱解析 Advanced モジュール

Advanced モジュールは **Femap/Thermal** の機能に高度な解析機能を追加した製品です。

○ 熱輻射解析機能

散乱面と規則反射面、および透過を考慮して双方向レイトレーシングや形態係数の計算を行い、熱輻射リンクを算出することができます。形態係数の計算にはヌッセルト半球投影法の他、先進の OpenGL アクセラレータのハードウェア機能を利用した非常に高速な Hemicube 法も利用できます。

○ 対流熱伝達機能

平板、球、円筒などの対流コリレーションを用いて自然対流を考慮することができます。一次元のフローネットワークを構築し、強制/自然対流熱伝達を計算できます。計算は水力学的手法と実験式を組み合わせ求めており、流体解析を行うわけではないので高速に処理できます。

○ 抵抗体発熱解析機能

材料特性に半導体特性を与えることで通電による発熱を模擬することができます。

○ モデルの縮退機能

- 日照解析機能
- 軌道熱解析機能
- 関節モデリング
- 外部プログラムインターフェイス

熱輻射解析について

熱輻射は表面から光波スペクトル(赤外や可視光、あるいは紫外線など)として熱エネルギーが放射され、吸収される現象です。

Femap/Thermal では、輻射の計算を指定するとモデルの中でエンクロージャの検出、形態係数の計算、遮蔽チェック、散乱と規則反射による輻射熱量の計算、および環境輻射加熱があればその計算が行われます。

Femap/Thermal では、あらかじめ一連の遮蔽チェックを行い形態係数をどのように計算するか決めていきます。遮られずに見えている要素のペアでは厳密な経路積分、部分的に遮られているペアにはヌッセルト半球法、互いに完全に見えていないペアでは、計算をしません。以下にヌッセルト半球法の式と概念図を示します。

ヌッセルト半球法は、以下の変換を行います。

$$A_i F_{ij} = A_j F_{ji} = \frac{1}{\pi} \iint \frac{\cos \phi_i \cos \phi_j}{r^2} dA_i dA_j$$

$$F_{ij} = \frac{1}{\pi r^2} \int_{A_j} \cos \phi_i \cos \phi_j dA_j$$

これを幾何的に表現すると図のようになります。

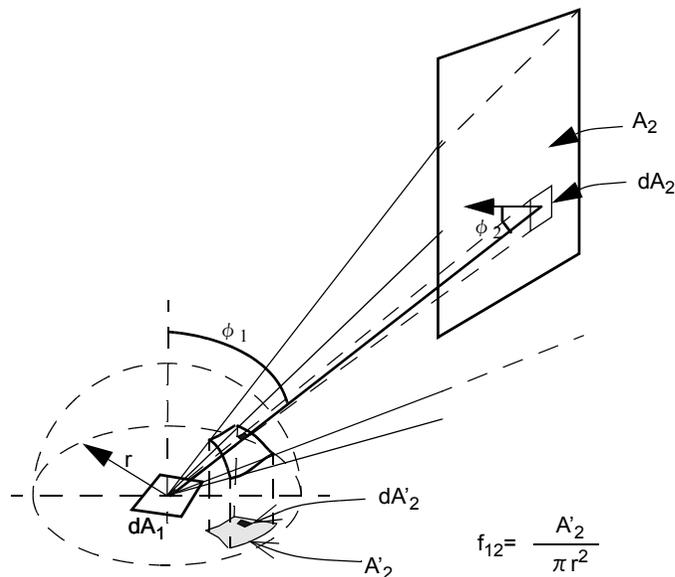


図 1-1 ヌッセルト半球法

解析事例一 熱輻射解析

モデル化

Femap/Thermal を用いて、簡単な熱輻射を考慮した解析事例を紹介します。計算モデルを下図に示します。

完全な黒色 ($\varepsilon = 1.0$) に塗装された 1m 角の正方形の板が 4 枚、1m 間隔で正対して並んでいます。

環境が絶対零度 (-273.15°C) で板 A に 1000W の発熱があるとき、各面の温度を計算します。

両面から環境への輻射

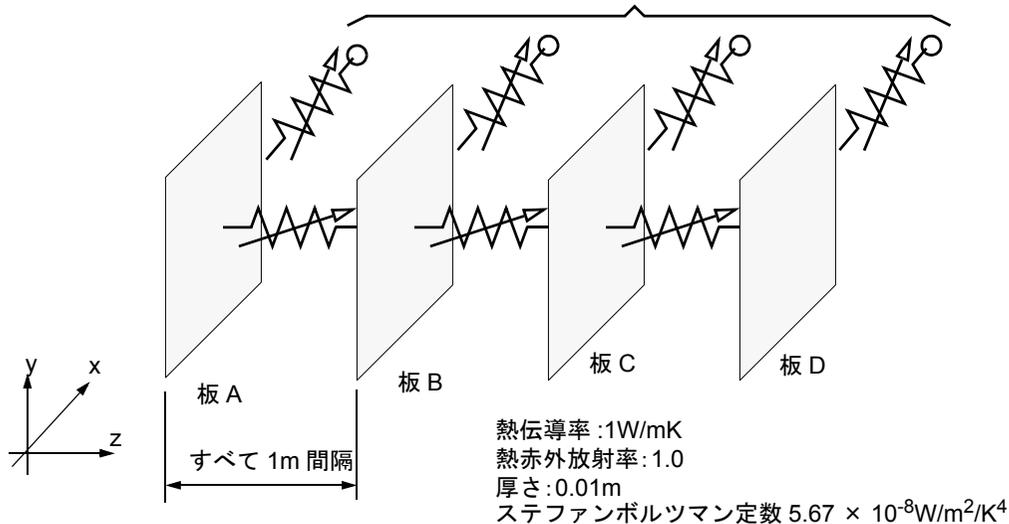


図 1-2 輻射定常熱伝導解析

本例題には解析解があります。

解析解

ビューファクタ

対向面間のビューファクタ F_{ij} は、

$$F_{ij} = \frac{2}{\pi xy} \left\{ \ln \sqrt{\frac{(1+x^2)(1+y^2)}{1+x^2+y^2}} + \left(x\sqrt{1+y^2} \operatorname{atan} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right) \right. \\ \left. + \left(y\sqrt{1+x^2} \operatorname{atan} \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} \right) - x \operatorname{atan}(x) - y \operatorname{atan}(y) \right\}$$

ここで、

x:[x 方向の寸法]/[距離]

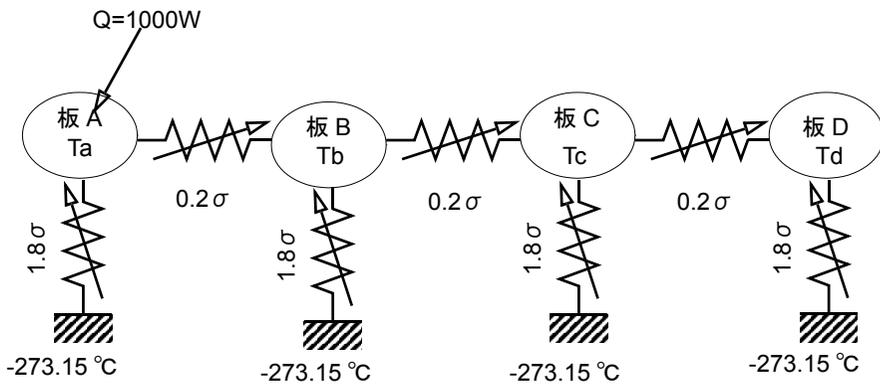
x:[y 方向の寸法]/[距離]

です。

数値を代入して計算すると、

$$F_{ij} = \frac{2}{\pi} \times 0.31388412 = 0.2$$

輻射ネットワークは下図のようになります。



このネットワークを解くと、 1°C 未満を四捨五入して、

$T_a=34^\circ\text{C}$

$T_b=-100^\circ\text{C}$

$T_c=-176^\circ\text{C}$

$T_d=-218^\circ\text{C}$

となります。

モデル化

メッシュ例を図 1-3 に示します。

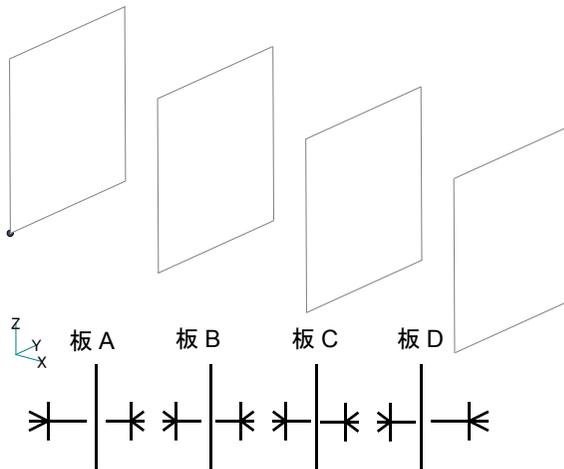


図 1-3 モデル図

解析結果

解析結果の温度分布を下图に示します。

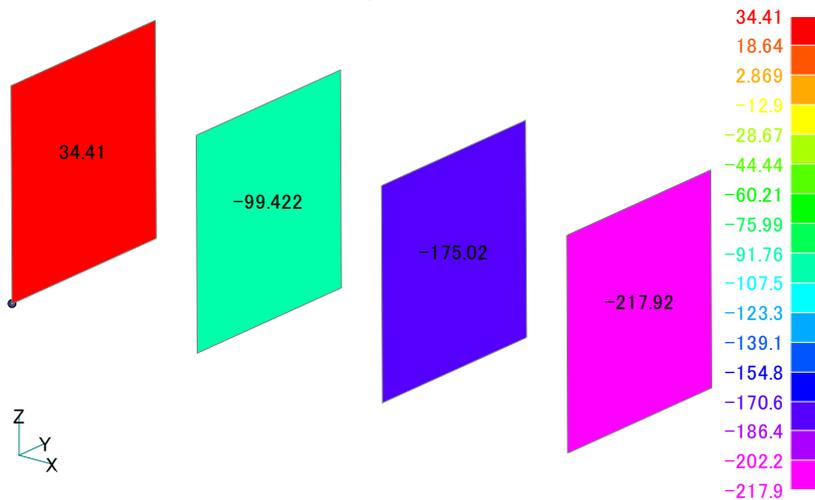


図 1-4 温度解析結果

各要素の解析結果と解析解を比較したものを以下の表にまとめます。

表 1-1 解析解との比較

板	A	B	C	D
解析解 (°C)	34	-100	-176	-218
解析結果 (°C)	34	-99	-175	-218
誤差 (% @ K)	0.	-1.	-1.	0.
ビューファクタ解析解	0.2	0.2	0.2	0.2
ビューファクタ解析結果	0.199825	0.199825	0.199825	0.199825
誤差 (%)	0.	0.	0.	0.

まとめ

Femap/Thermalの輻射解析の結果は解析解とよく一致することが分かりました。普通、今回のようなモデルでは、それぞれの板を細かいメッシュで表現しないと解析精度を確保することは困難です。**Femap/Thermal**では形態係数計算の精度を確保するために、計算の過程で必要に応じて要素を細分します。

Femap/Thermal は高度で正確な輻射計算を行うことができ、他の機能と組み合わせることで広範にわたる熱問題に対応することができます。

お問い合わせ：

Femap/Thermal：ITアシストコム株式会社

Tel : 03-5537-5751 Fax : 03-5537-5752 E-mail : info@it-ac.co.jp URL : <http://www.it-ac.co.jp>