

有限要素解析プログラムの超並列化（2）－ 超並列処理プログラムの拡張 －

6 F-7

原田 公一¹⁾、磯部 俊夫¹⁾、奥村 秀人²⁾¹⁾航空宇宙技術研究所、²⁾神奈川工科大学

1. はじめに

最近では並列計算機により大規模な数値シミュレーションが行われているが、超並列計算機を用いた差分法や有限要素法による数値シミュレーションにはまだ多くの研究課題がある。

本研究では原田ら¹⁾の提案している128×128台の隣接結合型超並列計算機を対象として、有限要素法による解析プログラムの超並列化についての研究を行うことを目的としている。ここでは二次元熱伝導FEM解析プログラムを基に並列処理アルゴリズムを用いて、超並列計算機に適合するプログラムを開発し、四角形要素と三角形要素を併用できるように拡張したので報告する。

2. 並列処理アルゴリズム²⁾

図1のように解析領域ABCDの周囲の境界に沿って、波線の四角形要素をダミー要素として設定し、総計 $(M-1) \times (N-1)$ 個の四角形要素に分割する。ただし、ダミーの四角形要素に関する要素マトリックスの成分はすべて零とする。

次に通常の有限要素解析では、要素番号及び節点番号はそれぞれ1つの整数型のインデックスによって示すが、ここでの並列処理では、2つのインデックスを用いて表示する。つまり (I, J) に対応したメモリには、要素番号 $(I-1, J-1)$ に関する要素マトリックスのデータを格納する。

また全体マトリックスの合成では、通常計算された成分の値は1つの配列に格納するが、並列のアルゴリズムではメモリ (I, J) には、全体マトリックスの成分の中で節点 (I, J) とその周囲の8個の節点についてのデータを格納させる。ただし、 M は2から $(M-1)$ 、 N は2から $(N-1)$ までが有効であり、破線部分のメモリはすべて零である。したがって本方法では、全体マトリックスを分散して格納することになる。

また連立方程式の部分における並列処理については、基本となった非定常熱伝導プログラムと並列処理を適用したプログラムにおいては、共役傾斜法を使用する限り変更点はなかった。ただし、各プログ

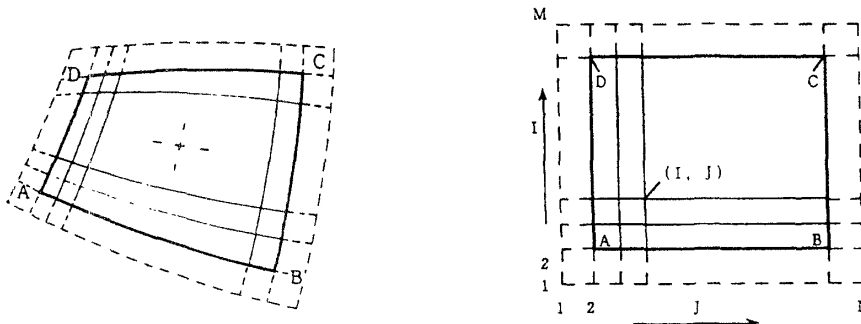


図1 有限要素分割とメモリの対応

Massively Parallel Processing of Finite Element Analysis Program (2)

¹⁾ Koichi Harada, ¹⁾ Toshio Isobe, ²⁾ Hidehito Okumura¹⁾ National Aerospace Laboratory, ²⁾ Kanagawa Institute of Technology

ラムにおける共役傾斜法の演算で、マトリックスとベクトルとの積において、マトリックス成分中の節点 (I, J) とその周囲の8個の節点についての非零成分のみを計算するようにしている。

3. 計算例題

文献[1]においては、 128×128 台の隣接結合型の超並列計算機の性能評価のためにシミュレータを開発して、三次元非圧縮非定常ナビエーストクス方程式の問題により並列計算機の性能評価を行っている。本研究においても同じ超並列計算機を想定して、二次元非定常熱伝導有限要素解析プログラムから並列処理に適合したプログラムを開発し、超並列計算機 Paragon によって実行して、その並列処理の妥当性を検討した。

例題³⁾はマッハ数6.47、一様温度242K、初期時刻 $t=0$ の表面温度294Kの条件で、外半径3.81cm、内半径2.54cm、のステンレスの二次元円筒を対象としている。要素分割は、 $1/4$ の領域を円周方向に128、半径方向に42の節点を有するようにした。

4. 結論

(1) 解析領域を $(M-2) \times (N-2)$ の格子に一对一の対応が可能な四角形要素で分割し、さらに解析領域の境界に沿ってダミーの四角形要素を配置する。したがって総要素数は $(M-1) \times (N-1)$ になる。これは解析領域内のすべての節点がそれぞれ周囲の4つの四角形要素を有するようにするためである。ただし、ダミーの四角形要素に関する要素マトリックスの成分は零に設定する。

また、四角形要素では扱いが困難な領域では三角形で分割して、PEには四角形と同様のメモリの格納方法を行うように拡張した。

(2) 通常の有限要素プログラムにおいては、節点番号及び要素番号をそれぞれ整数型の1つのインデックスを設定している。しかし、ここで用いた並列処理アルゴリズムでは、節点番号及び要素番号をそれぞれ整数型の2つのインデックスで表現する。たとえば (I, J) のようにする。それにより並列計算機の (I, J) に対応したPEのメモリに、節点番号 (I, J) とその周囲の8つの節点に関するデータと要素番号 $(I-1, J-1)$ に関するデータを格納する。これにより通常の全体マトリックスの合成では、マトリックスの成分の値は各PEで必要な9つの節点に関するデータを分散させて格納することになる。

参考文献

- 1) 原田公一, 岩宮敏幸, 三次元Skew配列による並列計算機の性能, 航空宇宙技術研究所TR-1211, (1993).
- 2) 原田公一, 奥村秀人, 磯部俊夫, 熱伝導有限要素プログラムの超並列化条件, 情報処理学会第51回全国大会6(1995), 7.
- 3) P. Dechaumphai, E. A. Thornton, and A. R. Wieting, Flow-Thermal-Structural Study of Aerodynamically Heated Leading Edges, J. of Spacecraft, Vol.26, No.4(1989), 201.

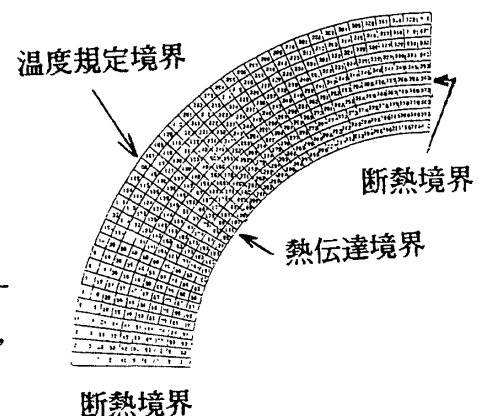


図2 計算例題