

論文の内容の要旨

論文題目 電子機器の構造信頼性評価における
大規模接触解析手法に関する研究
(Large scale contact analysis method for evaluating
structural reliability of electronic devices)

氏 名 稲垣 和久

ノートパソコンや携帯電話をはじめとする電子機器の構造設計においては、要求寸法、重量、想定使用環境下での堅牢性を上流工程で検証するために、有限要素法に基づく構造解析が広く行われている。一般に電子機器の構造解析は、製品の3D-CADモデルを部品毎に要素分割し、部品間の接触条件および多点拘束条件を与え、使用環境を想定した荷重に対する応答を見る。近年では、同時に考慮すべき部品点数の増加、モデル作成における形状簡略化作業の省略による手番短縮、解析の高精細化のため、有限要素解析の高速化、大規模化が重要な課題となっている。

多点拘束付き摩擦無し接触問題は制約付き最適化問題として定式化され、その解法としては、接触・非接触の状態を探索する有効制約法と、非貫入制約を処理するペナルティ法、ラグランジュ乗数法、拡張ラグランジュ乗数法等を組み合わせる方法が広く用いられている。しかしながら、基板や液晶画面、カバー等の薄板形状部品が密に配置される電子機器においては、接触制約の数が自由度に対して相対的に多いため、接触・非接触の組合せを試行錯誤的に探索する有効制約法は状態決定に多大な反復計算を要する。

本研究では、電子機器の構造解析を想定した大規模接触問題に対し、効率的な計算手法を確立することを目的とする。制約付き最適化問題の解法としては、内点法が提案されている。内点法は対数障壁関数を用いて不等式制約領域内部から最適点を探索する一連の解法の総称である。本研究では始めに多点拘束条件をペナルティ法で無制約化し、その問題に対して主双対内点法を適用した。単純な梁から電子機器の実機まで複数の解析モデルを用意し、解法の収束特性を調べた。その結果、収束性は主双対内点法のバリアパラメータの減少速度に大きく依存すること、自由度・接触制約数の大きい実機問題では有効制約法より最大20%程度少ない反復で収束する特性が明らかになった。次に予測子修正子法を適用し同様の数値実験を行い、収束特性の改善が見られるか調べた。結

果、バリアパラメータの減少速度を調整する必要無く、主双対内点法と比べ40%程度の計算時間が削減された。さらに大変形荷重増分解析において、前ステップの解を用いたウォームスタートにより収束を加速する方法を検討し、ペナルティパラメータの調整が必要ながら2反復目以降の反復が削減する結果を得た。

また、電子機器モデルは接触可能面積が広い一方で、接触点の滑りは少ない特性がある。この点に着目し、通常節点集合と要素面集合で接触面対を定義するところを、事前の接触探索結果から作成した固定の節点・要素対コネクティビティによって接触計算を行う方法を提案した。通常の連続体領域を表す要素と一括して領域分割が行われるため、metisライブラリ等によって均等かつ通信の少ない分割が行われ、大規模モデルが並列で計算可能になる。本研究では約2,868万自由度の大規模サーバモデルにおいて、各制約条件処理手法と本手法を様々に組み合わせた場合の計算時間を調べた。まず内点法と有効制約法およびPenalty法の組み合わせについて、直接法ソルバを用いた8ノードのintelクラスタにおける計算時間を比較した。その結果、Penalty法は接触状態が収束しない一方で、内点法は収束閾値の緩和が必要であるが解が得られることを確認した。次にPenalty法をPenalty値の小さい拡張Lagrange法に置き換えたコードを作成し、反復法ソルバを用いた場合の計算時間を比較した。計算ケースに32から128ノードのFX10クラスタ試用の場合を加え検証したところ、並列化効率は高いものの128ノードのケースにおいても計算時間は内点法接触の2倍程度かかっており、本ケースでの自由度では比較的少数の計算機による内点法接触が最も効率的である結論を得た。

以上の通り、本研究では主として電子機器の構造解析を想定した大規模接触問題の計算コストを内点法によって軽減し、また接触要素によって並列計算機の計算性能を活用する方法を提案した。なお本研究の提案手法は特に電子機器に限らず一般の接触問題に適用できるものであり、同様の接触特性を持つ製品に対しても同等の効果が期待されるため、産業における製品構造設計の効率化に対して広く寄与するものと考えられる。