

固有ひずみを用いた熱加工シミュレーション技術

21世紀の製造技術は、「勘と経験」の時代からコンピュータ支援システムをベースに大きな進化を始めています。エネルギー機器などの大型構造物においても、高効率化、高精度化、コスト競争力強化の観点から、物作りシミュレーションの開発とその適用が必須課題となっています。

ところで、エネルギー機器の製造には各種プロセスが適用されています。既に、プレスなどの塑性加工については高精度シミュレーションが行われていますが、溶接などに代表される熱加工や表面改質プロセスは、複雑な物理現象が混在するため、従来からシミュレーションが困難でした。

ここでは、エネルギー機器に代表される大型構造物において、高効率・高精度化、リードタイム短縮によるコスト競争力強化を目指して進めている、物作りシミュレーションの概要を示します。なかでも、主要なプロセスである熱加工シミュレーションに注目した最近の取組みを紹介します。

物作りシミュレーションの概要

物作りを支援するコンピュータシステムにおいて必要なのは、製品に関する情報をデジタルデータとして保有することです。既に、設計・製造情報に関してはCAD/CAM(コンピュータ支援による設計・製造)システムの進歩が著しく、その有効性が広く認識されています。また、製品全体をデジタルデータで表現するデジタルモックアップ(DMU)が、製品情報管理システム(PDM)の支援のもとに現実化し始めています。このDMUは、図1に示すように、CAE(コンピュータ支援によるエンジニアリング)システムの

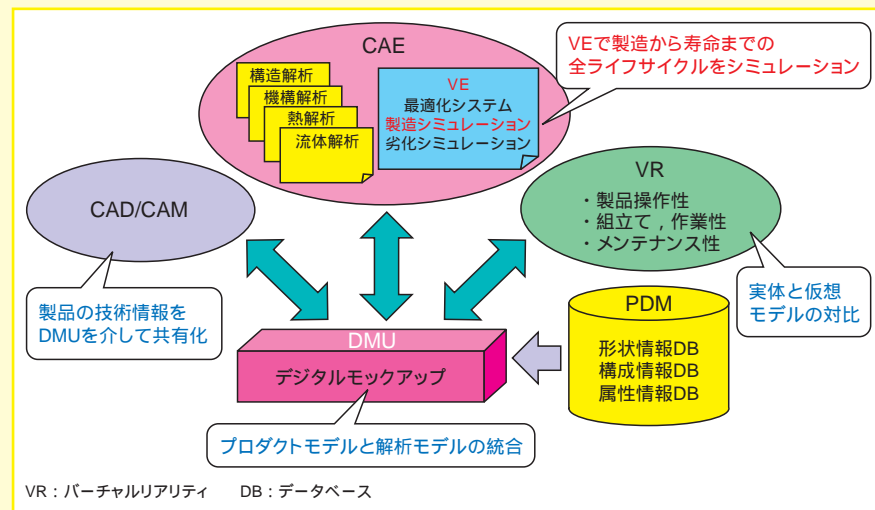


図1 デジタル製造をリードするVE 最適化システム, 製造シミュレーション, 劣化シミュレーションはCAEの中でVEとして位置づけられ, デジタル製造での重要な部分を占めています。

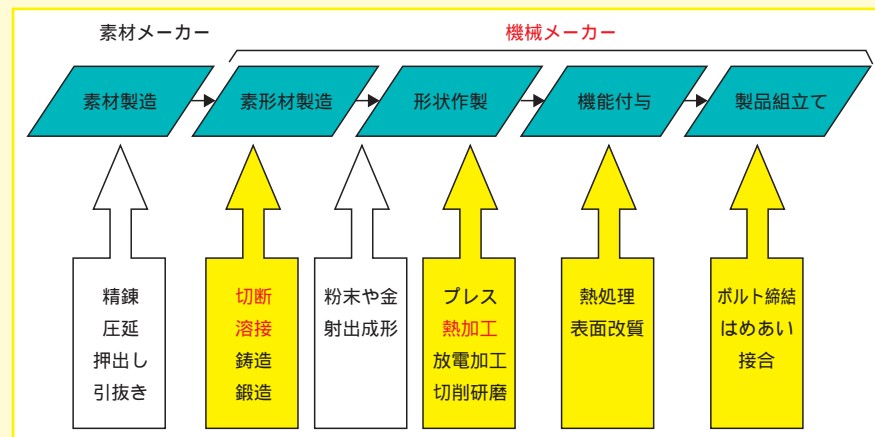


図2 機械製造の基本工程と製造プロセス 機械製造工程はメーカー工程として一般的に5分類されます。

中でVE(仮想設計・製造)と位置づけられる強度評価シミュレーション, 製造シミュレーションなどの進歩とあわせて、設計の初期段階で製品完成度を高めています。また、製造プロセスの仮想実行を可能とし、コンカレントエンジニアリングを実現しています。しかし、これらのシミュレーションは複数の物理現象から構成されるため、一般に解析が困難であり、製造シミュレーションにおいてもすべてが完成されているとは言えないのが現状です。

ところで、実際にエネルギー機器製造の基本工程は図2に示すとおりで、素材メーカーが行う素材製造プロセスを除き、機械メーカーでは素材材製造, 形状作製, 機能付与, 製品組立ての四つの工程で製造が行われます。使用されるプロセスは製品の種類や規模によって異なりますが、最近のエネルギー機器において大きな割合を示すのは、切断, 溶接, 局部加熱, 切削研磨, 表面改質などの製造プロセスです。特に、溶接, 切断, 局部加熱などの熱加工プロセスは、大型エネルギー

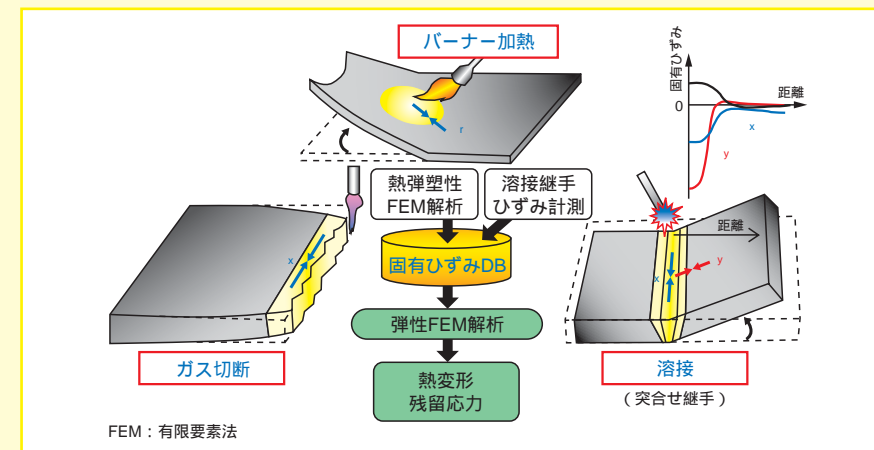


図3 固有ひずみ法による熱加工シミュレーション 溶接やガス切断などの熱加工シミュレーションでは固有ひずみを用いた解析手法により, 弾性解析で簡便に熱変形・残留応力が求められます。

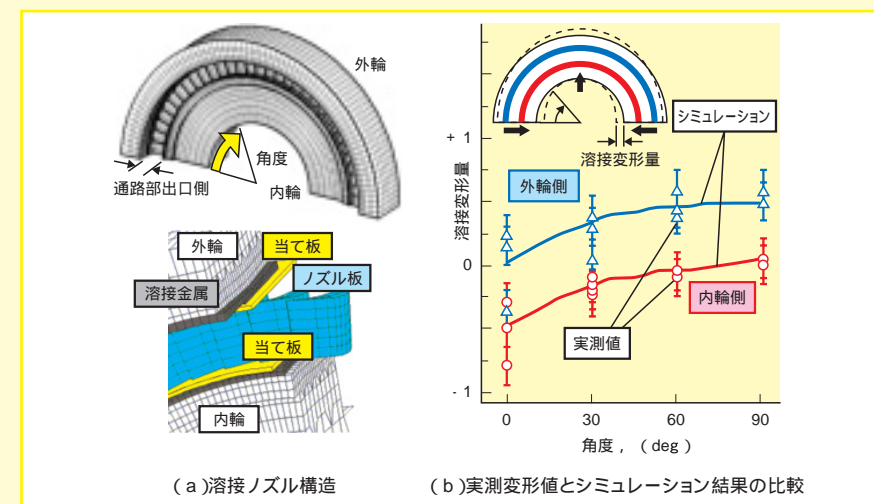


図4 蒸気タービン溶接ノズルの変形解析への適用例 複雑な溶接構造物に熱加工シミュレーションを適用し, 実測値との比較を示しています。

機器を製造するための中核となる製造技術であり、熱変形の矯正や残留応力が強度に及ぼす影響など多くの問題があります。

熱加工シミュレーション  
・固有ひずみ法による熱加工シミュレーション

溶接変形や残留応力の把握には、一般的に熱弾塑性解析が有効ですが、多大な計算時間が掛かり、大規模問題は解けないのが現状です。そこで、溶接によって生じる固有ひずみに着目した解析システ

ムを開発しました。固有ひずみの概念を図3に示します。例えば突合せ継手の場合は、溶接時の熱変形によって生じる各方向のひずみ(  $x, y$  )を固有ひずみと呼びます。これらの固有ひずみ分布を基本継手についてあらかじめ求めておくことにより、対象となる溶接部に与え、溶接変形と残留応力を弾性解析により簡便に短時間でシミュレーションができます。

・適用例  
蒸気タービン溶接ノズルダイアフラムに、開発した熱加工シミュレーションを

適用した例を図4に示します。タービンノズル(静翼)は流入してきた蒸気を整流し、下流にある動翼へ適切に蒸気を導くガイドの役割を果たします。タービンの性能を維持するためには、蒸気通路部出口側の寸法に高い精度が要求されます。ノズルダイアフラムは、多数のノズル板を配列した半環状構造です。流線型のノズル板を当て板にはめ込み、シール溶接した後、内輪と外輪を周方向に溶接(以下、主溶接という)して作られます。しかし、精度が要求される通路部については、主溶接後の機械加工による寸法出しが困難です。そのため、溶接変形を高精度で管理する必要があります。

今回の解析では、固有ひずみ分布は、ノズル断面の二次元軸対称モデルで熱弾塑性解析を行い求めました。この固有ひずみ分布を三次元モデルに入れて、弾性解析を行うことで、簡便に高精度で変形をシミュレーションできます。シミュレーションと実測値の比較を図4(b)に示します。

今後の展望

固有ひずみ法に基づく熱加工シミュレーションと、製品の操作性や組立て、作業性のシミュレーションとを組み合わせることにより、物作りのコンピュータ仮想空間上でのデジタル製造が可能となります。

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発グループ主務

田中 明

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発グループ主務

斎藤 和宏

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発グループ部長

伊藤 義康