



特集記事

ここまで来た計算科学の鉄鋼への応用

コラム 2

数値流体力学 (CFD) を今後使おうとする人への発信

Dispatch to Those Who Are Going to Use CFD

津田宜久 Norihisa Tsuda
(株)日鉄テクノリサーチ 次長

コラム記事の依頼を受けた時、記事案の「地球シミュレータ」に目が止まった。1997年頃の科学技術庁のプロジェクトであった記憶がある。今から7年程前であり、当時は、VPP 700、SX-4で代表されるスーパーコンピュータやCPU本体にAlpha21264、R1000、RISC800等を搭載したワークステーションが計算科学に用いられていた記憶がある。更に、Windows-95の普及と共に、誰でもがパーソナルコンピュータ(PC)系の計算機を有効利用し始めた時代でもあった。計算科学が身近な存在になり始めたのも、この頃からではないだろうか。

この頃、すなわち、1997年頃から、PC系の計算機にも2G byte程度のメモリが搭載されるようになった。この程度のメモリがあれば、200万接点程度の計算格子を用いて、温度と速度を連成した計算を行う事が可能となり始めた。Fig.1-1は、自動車用ヘッドランプ内部の熱と流れ場を計算するための計算格子¹⁾である。ヘッドランプのように形状が複雑な場を対象とした場合、CADデータから計算格子を作るには、若干の手間と時間を必要とする。本計算格子の作成においては、流体部の格子作成が比較的容易な八分技法を用いて、流体部に二次要素のテトラ格子を作成したものである。計算格子が作成できれば、市販コードに計算条件を入力し、1週間程度の時間で、比較的精度の高い温度情報と速度情報

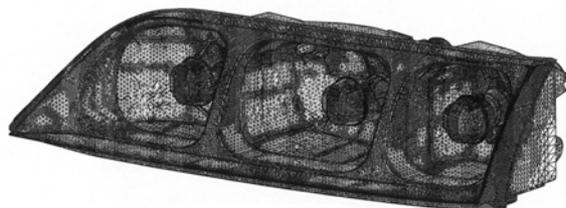


Fig.1-1 Surface Mesh for Fluid (Automotive Headlamp)

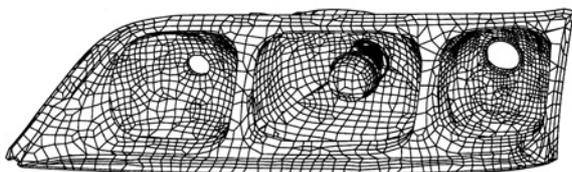


Fig.1-2 Surface Mesh for Solid (Automotive Headlamp)

を入手する事が可能になるだろう。しかしながら、市販コードを使用する場合、注意する事が多々ある。例えば、Fig.2に示すような高炉プロセスで用いられる大樋の流れを例にとると、計算領域(耐火物煉瓦内部を固体として、溶銑を流体として取り扱い事を考える)、特に、流体部では、溶銑が落下する近傍に強い強制対流が、また、下流部では、溶銑の落下による強制対流の効果が弱くなり、溶銑自体が冷却されることによる自然対流が、流れと垂直な断面に2次流れとして存在しているのではないだろうか。更に、溶銑とスラグとでは、粘度が大きく異なることから、溶銑内部では、流れ場が乱流であるのに対して、スラグ部での流れは層流ではないだろうか。また、スラグ表面から樋蓋への放射や樋蓋から外気への放射を無視する事は困難な場ではないだろうか。

工業的な計算を行うなら、強制対流と自然対流に関しては、あまり考えず、また、流れ場全てを乱流として、放射を無視した計算を行う事は多々あるし、ある意味では、工業的には、十分な計算方法であるので、「これから計算工学を利用される若い読者」に是非、お勧めしたい方法である。

一方、現象を精緻に把握する為には、自然対流を表現する、例えば、ブジネ近似の問題¹⁾や、層流と乱流が混在する場、あるいは、放射を考慮した計算方法等を追求する必要があるのではないかと思う。

最後に、著者らが開発中の放射を考慮した熱流体計算方法²⁾を紹介する事にする。放射は、熱移動の三形態の1つであり、媒体が放射熱を吸収しない場合には、壁面間の放射を考慮した理論が、また、媒体が放射熱を吸収する場合には、媒体の波長による熱吸収係数の大きさにより、幾つもの理論(例えばP1近似等)がある。前者の計算方法として、伝熱工学の本には、必ず、壁面間の熱収支方程式が紹介されている。

しかしながら、放射を考慮した計算には、大規模なメモリが必要とされる。Fig.3とTable 1は、六方体格子を用いて、

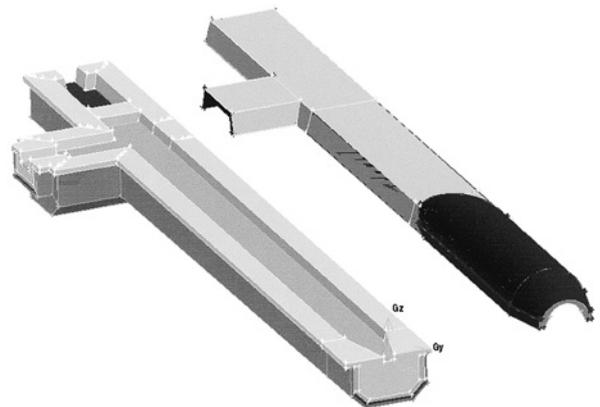


Fig.2 Example Mesh of the target process in CFD

層流自然対流を計算する場合の計算モデルと計算に要するメモリを示したものである。表中、例えば、50*50*50の大ききで空間を離散化した場合には、放射を無視した計算に必要なメモリが120 M Byteであるのに対して、壁面間の熱収支方程式を用い、放射を考慮した計算に必要なメモリは、このような簡単な形状においても、3.7 G byte程度のメモリを必要とする事がわかる。尚、媒体が放射性流体になる場合には、壁面間の熱収支方程式を用いと共、媒体の吸収熱を計算する必要が有るため、更に計算に必要なメモリが増大する。

この問題を解決するために、著者らは、固体と流体の計算格子を不連続にする計算方法 (FSI-DM法：Fluid Solid Interface using Discontinuous Mesh)²⁾を開発している。FSI-DM法は、固体内部の計算格子と流体内部の計算格子

の格子密度を変え、固体・流体界面で不連続な面を構成する計算方法である。本FSI-DMには、①固体・流体内部の計算格子密度が異なる事から、非線形な流体部には格子密度の高い計算格子を作成すると共に、線形性が強い固体部には、格子密度の低い計算格子を独自に作成する事ができる。更に、②固体表面に発生させた計算格子で放射を計算すれば、放射計算の為のメモリを大幅に削減する事ができるという特徴をもっている。Fig.1-2は、固体表面に発生させた計算格子である。Fig.1-1に示す格子密度の高い流体格子と組み合わせ使用する事で、壁面間の放射、流体部の自然対流、固体内部の熱伝導を連成計算することが可能な計算方法である。

計算技術は、着実に発展している事は事実であるが、燃烧、凝固、自由表面、二相流等、幅広い範囲での課題が多く残されている事を最後に記載すると共に、計算科学と計算工学の分野において、若い研究者と技術者に今後の更なる発展を期待します。

参考文献

- 1) 塩澤藤一郎, 津田宜久, 小林敏雄：自動車用ヘッドランプ内の自然対流解析 (第1報), 日本機械学会論文集 B編, 66, 652, 60.
- 2) 塩澤藤一郎, 津田宜久, 小林敏雄：自動車用ヘッドランプ内の自然対流解析 (第2報), 日本機械学会論文集 B編, 68, 676, 45.

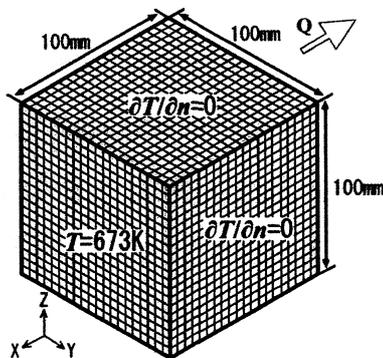


Fig.3 Simplified Test Model

Table1 Relation between the number of nodes and memory size required for calculation

mesh size	faces onsurface	View Factor	unit (M byte)	
			without radiation	with radiation
20*20*20	2400	47	8	99
30*30*30	5400	235	26	489
40*40*40	9600	740	62	1526
50*50*50	15000	1805	120	3700
60*60*60	21600	3741		

(2004年9月7日受付)