



## 工業炉のシミュレーション —非定常な現象を予測する—

研究・開発機関 : 大阪ガス(株)  
 利用施設 : 自社施設、(公財) 計算科学振興財団 FOCUSスパコン  
 計算規模 : 計算速度6Tflops  
 利用ソフトウェア : Open FOAM

### Before

●工業炉の内部では、燃焼・伝熱（対流・放射・伝導）・流動などが同時に生じています。そのため炉内の状況を適切にシミュレーションするには強力な計算機能力が必要となります。特に、被加熱物の昇温や間欠的な燃焼など、非定常な現象を追う場合は、計算時間が膨大となり、実用が困難でした。

### After

- オープンソースプログラム  
OpenFOAMの燃焼モデルを見直し、同時に収束計算を改善し、計算速度を大幅に向上させました。
- OpenFOAMの燃焼計算用モジュールで固体との伝熱計算ができるように改造しました。
- 処理物の昇温とインパルス燃焼炉に適用し、実用的な計算時間で解析できることを確認しました。

### 背景と目的

工業炉とは、材料や部品を加熱し、溶解、焼成、熱処理をするための装置のことで、鉄鋼、自動車、電機、化学など様々な産業分野でモノづくりを支えています。工業炉には目的に応じて、多様な構造・大きさのものが存在します。炉の種類を問わず重要となるのは、効率的に熱を利用し、適切に処理目的を達成することです。そのためにいろいろな工夫がなされていますが、それらの有効性を事前に把握し、改良することを目的にシミュレーションを活用しています。炉内でのバーナの燃焼・炉気の流動・炉壁や処理物の加熱等の現象をシミュレーションするには、燃焼・伝熱・流動を目的に応じて適切に解く必要があります。特に非定常な現象を対象とする場合は計算負荷が大きくなります。そこでオープンソースの流体解析コードである OpenFOAM を利用して、高速化を行い、工業炉内の非定常な現象を現実的な計算時間で行えるようにしました。



図1. 工業炉の例

### 利用成果

#### 事例①処理物の昇温シミュレーション

工業炉で処理物を加熱する際、バーナの配置が適切でなければ被加熱物に温度分布が生じて、その結果発生する熱応力で変形や割れが発生するおそれがあります。また急激に加熱し過ぎても同様の不具合が懸念されます。そのため昇温過程での処理物の温度分布を把握することが重要でした。しかし、炉の寸法が数～数十mであるのに対しバーナノズルは数mm、バーナ噴出流速が数十～百数十m/sであるため細かなメッシュと小さなタイムステップ幅を要する、負荷の高い計算となります。今回高速化を図り、実用的な計算時間で解析ができるようになりました。図2は、箱状の処理物の5時間後までの昇温をシミュレーションした例です。昇温途中での温度分布が逐次把握でき、バーナ配置や運転方法改善の助けになります。

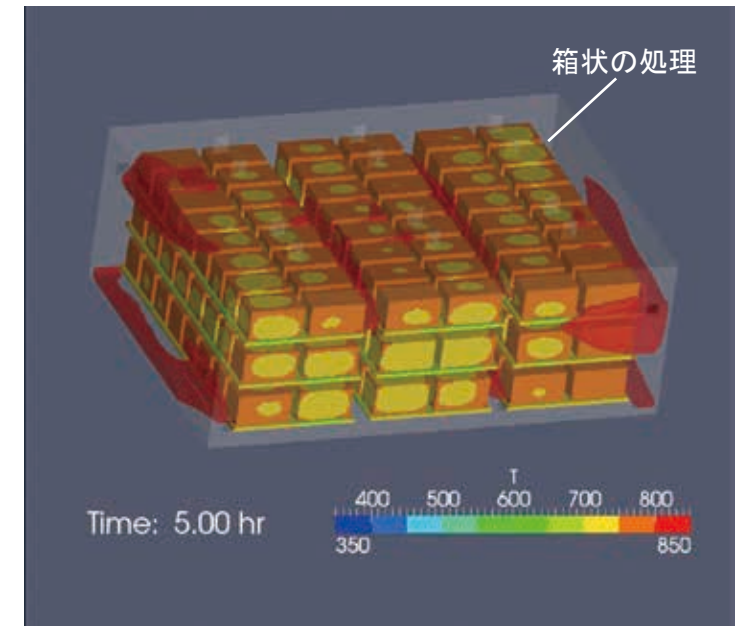


図2. 処理物の昇温シミュレーション

#### 事例②インパルス燃焼炉のシミュレーション

インパルス燃焼とは炉に複数のバーナを設置し、それらを順にON/OFFあるいはHi燃焼/Lo燃焼切り替えを行う燃焼方式です。これにより炉気の混合が促進され、炉内の温度分布均一化が期待されます。インパルス燃焼炉をシミュレーションするには、バーナの切り替えを再現する非定常の負荷の高い解析が必要です。今回高速化を計り、従来は困難であったインパルス燃焼炉の解析を実現することができました。図3は6本のバーナが、数秒サイクルで切り替わるインパルス燃焼炉をシミュレーションした例です。切り替えに伴う流動の変化などが予測でき、バーナの適切な配置や切り替え周期の検討ができるようになりました。

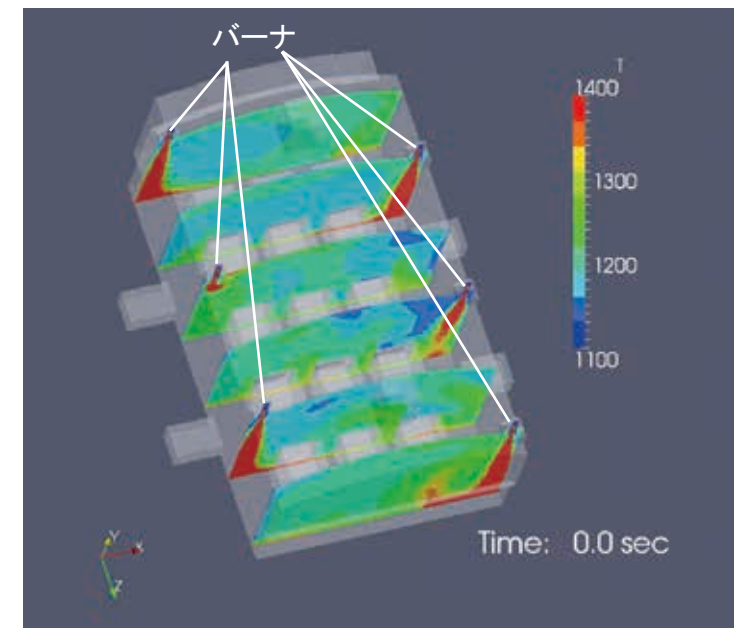


図3. インパルス燃焼炉のシミュレーション例