



清潔・快適・エコな 住宅水まわり製品開発のための 気液混相流シミュレーション

研究・開発機関 : [TOTO株式会社](#)
 利用施設 : スーパーコンピュータ「富岳」
 計算規模 : 最大数億要素、計算時間は50~200時間
 利用ソフトウェア : 自社開発混相流シミュレーションソフトウェア

Before

- 住宅設備機器の新製品開発のために、多数の微小な気泡や飛沫、薄膜流れを含む気液混相流解析プログラムを自社開発しており、トイレの洗浄シミュレーションに適用して運用中です。
- しかし他の部位の製品、例えばシャワーや浴室、水栓などの気液混相流シミュレーションは大規模な計算が必要なため、これまで実施できませんでした。

After

- GPU並列計算用に開発された自社プログラムを「富岳」のA64FXおよびTofuインターコネクに適合した並列計算プログラム構造に刷新し、数億メッシュ以上の大規模非定常混相流解析が高速に計算できるようになりました。
- シャワーの水垂れ・飛散・人体被水、浴室床の水残り、水栓の水はねなど、トイレ以外の広範囲な製品の解析ができる目処が立ちました。

背景と目的

当社では水まわりの住宅設備機器の開発を行っています。水まわりの製品では気液二相の流れが支配的ですが、一般的な液体または気体の单相流の流体解析と比較して、流体方程式に現れる密度が空気と水とで1000倍近く変わるため計算が複雑かつ不安定となり、計算精度や計算速度の点で難易度が高いという大きな課題があります。

当社では、東京工業大学との共同研究による混相流計算手法の開発とともに、東京工業大学スーパーコンピュータ「TSUBAME2」を利用して図1に示す衛生陶器での混相流シミュレーションソフトウェアを開発し[1]、オンプレミスのGPUサーバーおよびクラウドにて商品開発に適用してきました。一方、水栓やシャワー、浴室、洗面などの衛生陶器以外の住宅設備機器製品については、狭小複雑流路・微小気泡・薄膜流れ・飛沫の大空間飛散等のため計算量が非常に多く、これまで十分に商品開発への適用ができませんでした。今回、スーパーコンピュータ「富岳」産業利用を活用して流体解析技術を再構築し、シャワーや浴室床、水栓への適用を行いました。



図1 衛生陶器の混相流シミュレーション

利用成果

「富岳」の計算性能を発揮するためのプログラム改良

A64FXの倍精度同時8データSIMD並列計算能力を活用し計算速度を高速化するため、プログラム各所において図2に示すループ変換を行いました。非構造格子におけるメッシュ番号*i*に関する周囲のメッシュ番号*j*との物理量交換計算の二重ループ構造を、メッシュ番号*i*をブロック化して最内側に*ii*のループを挟むことにより、最内側のベクトル化が促進され、計算速度が約2.5倍高速化しました。またシャワー製品1.5億メッシュモデルで240並列において約200倍の並列化効率を達成しました。

```
double s;
for (i = 0; i < N; i++) {
    s = 0.0;
    for (j = 0; j < M; j++) {
        p = neighbor(i,j);
        ...
        s += v[p] * ...
    }
    val[i] += s * ...
}
```

N : メッシュ数
M : 隣接メッシュ数

```
double sp[NS];
for (i0 = 0; i0 < N-NS; i0 += NS) {
    for (ii = 0; ii < NS; ii++) sp[ii] = 0.0;
    for (j = 0; j < M; j++) {
        for (ii = 0; ii < NS; ii++) {
            i = i0 + ii;
            p = neighbor(i,j);
            ...
            sp[ii] += v[p] * ...
        }
    }
    for (ii = 0; ii < NS; ii++) {
        i = i0 + ii;
        val[i] += sp[ii] * ...
    }
}
```

図2 プログラム高速化前(左)、高速化後(右)

シャワー吐水、浴室床、水栓水はねへの適用

「富岳」の大規模計算により、シャワーにおける1.5億メッシュ 30万タイムステップの複雑製品形状混相流シミュレーションが一週間以内で実施可能となりました。飛散液滴の粒子法計算との併用手法により、図3に示すように①開栓による水の流入過程→②流路への充填過程→③吐水の開始→④閉栓による止水→⑤「残り水」の落下、の一連のプロセスを初めて実用的な計算時間により実施できるようになりました。その結果シャワー吐水時の人体にかかる範囲や力、またシャワー止水時の水の垂れが定量的に評価できるようになりました。

また図4に示す浴室床における薄膜の水残りシミュレーションを実用化し、表面溝設計や勾配検討に活用できるようになりました。さらに図5に示す水栓吐水時の水はねシミュレーションを試行し、周囲への水はねによる衛生性の事前評価に活用できる目処が立ちました。

以上の検討結果より、これまで計算規模の観点から適用が難しかった、衛生陶器以外の住宅設備水まわり機器の新製品開発に「富岳」を用いた混相流シミュレーションが活用できることが分かりました。今後は実製品への適用を通して、より詳細な計算精度検証を進め、デジタルものづくりを衛生陶器以外の製品開発現場に広く展開するとともに、清潔・快適・エコ(節水)な製品をお客様にお届けできるように注力していきます。

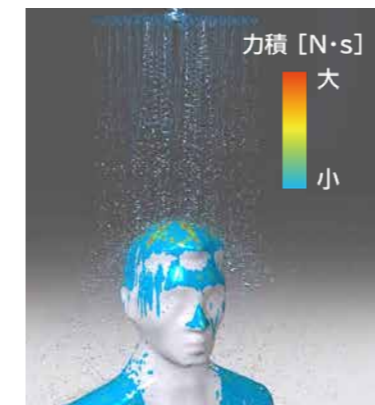


図3 シャワー吐水、水垂れシミュレーション



図4 浴室床水残りのシミュレーション



図5 水栓水はねシミュレーション

出典：[1] 池端、清水、肖、日本計算工学会論文集、2018.20180001(2018).