



FOCUSスパコンにおける STAR-CCM+ ベンチマーク評価

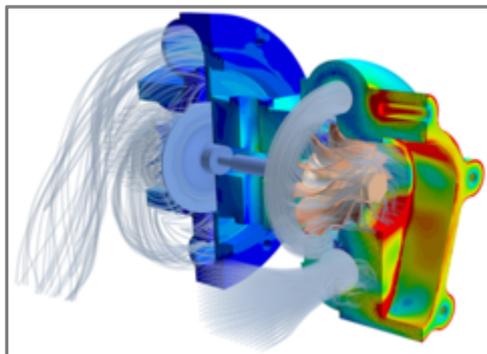
公益財団法人 計算科学振興財団
Foundation for Computational Science

ベンチマークテスト実施概要

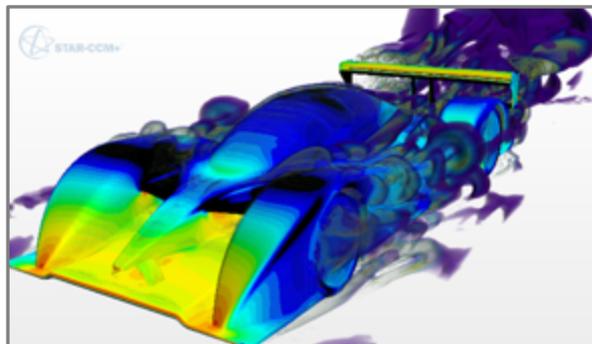
ベンチマークテスト実施概要（モデル）

本ベンチマークテストでは、シーメンスPLMソフトウェア様にご提供いただいた以下の問題を使用しています。また、STAR-CCM+のバージョンはv12.04.010 r8（倍精度）を使用し、iteration = 0~30までの時間を“STAR-CCM+ Report機能”により計測しています。

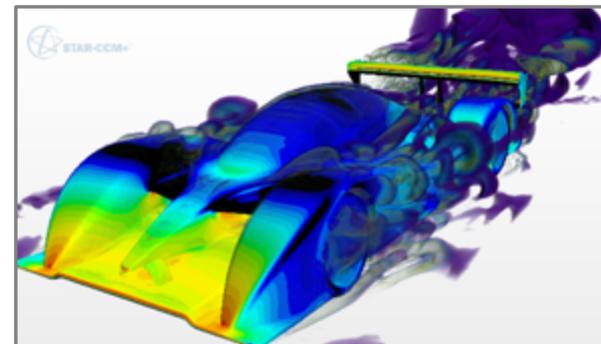
| 名称 | 解析ケース | セル数 | 領域数 | 物理モデル | 乱流モデル | ファイルサイズ |
|------------------|---------------|-------------|---------|--------------|-------|---------|
| ケース1 (small) | ターボチャージャー事例 | 6,758,082 | 流体3、固体2 | CHT | k-e | 2.6GB |
| ケース2 (medium) | ルマン車両の空力計算（中） | 17,231,394 | 流体1 | Aerodynamics | k-w | 6.6GB |
| ケース3 (large) | ルマン車両の空力計算（大） | 105,872,239 | 流体1 | Aerodynamics | k-w | 13.3GB |



ターボチャージャー事例
(セル数：約700万)



ルマン車両の空力計算（中）
(セル数：約1,700万)



ルマン車両の空力計算（大）
(セル数：約1億600万)

ベンチマークテスト実施概要（ハードウェア）

本ベンチマークテストでは、FOCUSスパコンA～Hシステムの8種類のシステム（演算ノード）のうち、ノード間高並列志向のA・D・F・Hシステムを使用しています。

| | | A システム | D システム | F システム | H システム |
|---------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| CPU | 世代 | Westmere | Ivy Bridge | Broadwell | Broadwell |
| | 型番 | Xeon L-5640 | Xeon E5-2670v2 | Xeon E5-2698v4 | Xeon D-1541 |
| | クロック周波数 | 2.26 GHz (Turbo Boost 2.80 GHz) | 2.5 GHz (Turbo Boost 3.30 GHz) | 2.2 GHz (Turbo Boost 3.60 GHz) | 2.1 GHz (Turbo Boost 2.70 GHz) |
| | コア数 | 12 (6core x 2CPU) | 20 (10core x 2CPU) | 40 (20core x 2CPU) | 8 (8core x 1 CPU) |
| | メモリバス | 1333MHz | 1600MHz | 2400MHz | 2133MHz |
| | メモリch数 | 3 | 4 | 4 | 2 |
| | メモリバンド幅 | 32.0GB/s (/1CPU) | 51.2GB/s (/1CPU) | 76.8GB/s (/1CPU) | 34.1GB/s (/1CPU) |
| メモリ | 48GB | 64GB | 128GB | 64GB | |
| ディスク | 500 GB HDD | 6000 GB HDD | 2000 GB HDD | 512 GB SSD | |
| インターコネク | InfiniBand-QDR(40Gbps) x1 | InfiniBand-FDR(56Gbps) x1 | InfiniBand-FDR(56Gbps) x1 | ノード間 10Gbps x 2 シャーシ間 40Gbps | |
| 理論演算性能 | 108.48 GFLOPS | 400 GFLOPS | 1,152 GFLOPS | 217.6 GFLOPS | |

■I/Oはホーム兼ワーク領域 (/home2)を使用しています。

- I/O性能
- ・ ホーム領域(/home1) 全体で500MB/s ※他のジョブの影響によりI/O速度が低下する場合あり
 - ・ ホーム兼ワーク領域 (/home2) 全体で11GB/s、プロセスあたり最大1GB/s ← 推奨
 - ・ ローカルディスク(/work) システムにより約100～440MB/s ※ジョブ終了時にデータ削除

ベンチマークテストにおけるコスト計算

本ベンチマークテストのコスト計算では、FOCUSスパコンの基本サービス（従量利用）における下表の**平成29年度**並列割引制度を適用した利用料にて算出しています。

【Aシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1~8ノード | 100円 |
| 9~16ノード | 95円 |
| 17~24ノード | 90円 |
| 25~32ノード | 85円 |
| 33~40ノード | 80円 |
| 41~48ノード | 75円 |
| 49~56ノード | 70円 |
| 57~64ノード | 65円 |
| 65~72ノード | 60円 |
| 73~80ノード | 55円 |
| 81ノード以上 | 50円 |

【Dシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1~8ノード | 300円 |
| 9~16ノード | 280円 |
| 17~24ノード | 260円 |
| 25~32ノード | 240円 |
| 33~40ノード | 220円 |
| 41~48ノード | 200円 |
| 49~56ノード | 180円 |
| 57~64ノード | 160円 |
| 65ノード以上 | 140円 |

【Fシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|---------|-------------------|
| 1ノード | 500円 |
| 2~4ノード | 475円 |
| 5~6ノード | 450円 |
| 7~8ノード | 425円 |
| 9~10ノード | 400円 |
| 11ノード以上 | 375円 |

【Hシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1~8ノード | 100円 |
| 9~16ノード | 95円 |
| 17~24ノード | 90円 |
| 25~32ノード | 85円 |
| 33~40ノード | 80円 |
| 41~48ノード | 75円 |
| 49~56ノード | 70円 |
| 57~64ノード | 65円 |
| 65ノード以上 | 60円 |

平成30年度は並列割引料率に変更になります。平成30年度の並列割引は次頁をご参照ください。

【参考】平成30年度 並列割引率

平成30年度のFOCUSスパコン計算資源利用にかかる並列割引料率は下表のとおりです。

【Aシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1~4ノード | 100円 |
| 5~8ノード | 95円 |
| 9~12ノード | 90円 |
| 13~16ノード | 85円 |
| 17~18ノード | 80円 |
| 19~20ノード | 75円 |
| 21~22ノード | 70円 |
| 23~24ノード | 65円 |
| 25~26ノード | 60円 |
| 27~28ノード | 55円 |
| 29~30ノード | 50円 |
| 31~32ノード | 45円 |
| 33ノード以上 | 40円 |

【Dシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1~4ノード | 300円 |
| 5~8ノード | 280円 |
| 9~12ノード | 260円 |
| 13~16ノード | 240円 |
| 17~20ノード | 220円 |
| 21~24ノード | 200円 |
| 25~28ノード | 180円 |
| 29~32ノード | 160円 |
| 33ノード以上 | 140円 |

【Fシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1ノード | 500円 |
| 2~4ノード | 475円 |
| 5~6ノード | 450円 |
| 7~8ノード | 425円 |
| 9~10ノード | 400円 |
| 11~12ノード | 375円 |
| 13~14ノード | 350円 |
| 15~16ノード | 325円 |
| 17~18ノード | 300円 |
| 19~20ノード | 275円 |
| 21ノード以上 | 250円 |

【Hシステム】

| 並列数 | 単価 (ノード 時間) |
|----------|-------------------|
| 1~4ノード | 100円 |
| 5~8ノード | 95円 |
| 9~12ノード | 90円 |
| 13~16ノード | 85円 |
| 17~18ノード | 80円 |
| 19~20ノード | 75円 |
| 21~22ノード | 70円 |
| 23~24ノード | 65円 |
| 25~26ノード | 60円 |
| 27~28ノード | 55円 |
| 29~30ノード | 50円 |
| 31~32ノード | 45円 |
| 33ノード以上 | 40円 |

システム別ベンチマークテスト結果

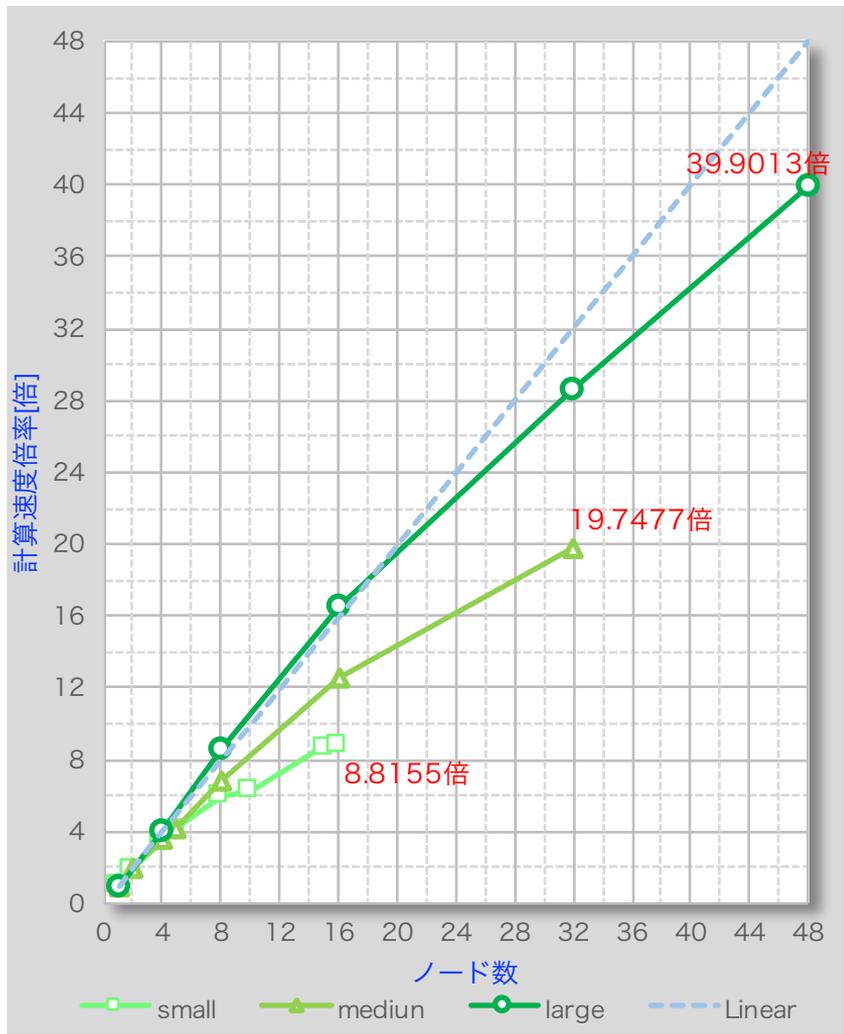
Aシステム 【結果データ】

| | | | 実測値 (30 iteration) | | | | | | 理論値 (1000 iteration) | | | 理論値 |
|----------------|------|-----|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------|----------|----------------------|-----------|----------|----------------|
| | ノード数 | コア数 | 経過時間[秒] | | | | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | 経過時間[秒] | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | iteration数/1時間 |
| | | | 0-30 iteration [秒] | 0-1 iteration [秒] | 1-30 iteration [秒] | 1-30 iteration 平均[秒] | | | | | | |
| ケース 1 (small) | 1 | 12 | 326.0787 | 62.8925 | 263.1862 | 9.0754 | 1.0000 | 100.00% | 9129.2037 | 1.0000 | 100.00% | 390.7473 |
| | 2 | 24 | 169.0321 | 30.6267 | 138.4054 | 4.7726 | 1.9291 | 96.45% | 4798.4544 | 1.9025 | 95.13% | 748.8886 |
| | 4 | 48 | 96.1908 | 19.7095 | 76.4813 | 2.6373 | 3.3899 | 84.75% | 2654.3597 | 3.4393 | 85.98% | 1358.5655 |
| | 5 | 60 | 77.8016 | 17.4559 | 60.3457 | 2.0809 | 4.1912 | 83.82% | 2096.2599 | 4.3550 | 87.10% | 1722.6446 |
| | 8 | 96 | 54.4290 | 14.4823 | 39.9468 | 1.3775 | 5.9909 | 74.89% | 1390.5796 | 6.5650 | 82.06% | 2603.9642 |
| | 10 | 120 | 52.0193 | 18.9817 | 33.0376 | 1.1392 | 6.2684 | 62.68% | 1157.0694 | 7.8899 | 78.90% | 3144.3758 |
| | 15 | 180 | 37.3625 | 13.2603 | 24.1022 | 0.8311 | 8.7274 | 58.18% | 843.5402 | 10.8225 | 72.15% | 4316.5963 |
| | 16 | 192 | 36.9893 | 13.7004 | 23.2888 | 0.8031 | 8.8155 | 55.10% | 815.9605 | 11.1883 | 69.93% | 4466.7755 |
| ケース 2 (medium) | 1 | 12 | 1800.1742 | 429.9496 | 1370.2246 | 47.2491 | 1.0000 | 100.00% | 47631.8246 | 1.0000 | 100.00% | 68.0923 |
| | 2 | 24 | 900.0871 | 214.9748 | 685.1123 | 23.6246 | 2.0000 | 100.00% | 23815.9123 | 2.0000 | 100.00% | 144.2841 |
| | 4 | 48 | 496.0340 | 154.1086 | 341.9254 | 11.7905 | 3.6291 | 90.73% | 11932.8491 | 3.9917 | 99.79% | 293.2592 |
| | 8 | 96 | 264.5464 | 95.6191 | 168.9274 | 5.8251 | 6.8048 | 85.06% | 5914.8750 | 8.0529 | 100.66% | 602.6021 |
| | 16 | 192 | 143.5454 | 57.7419 | 85.8035 | 2.9587 | 12.5408 | 78.38% | 3013.5245 | 15.8060 | 98.79% | 1198.2179 |
| | 32 | 384 | 91.1589 | 40.3219 | 50.8369 | 1.7530 | 19.7477 | 61.71% | 1791.5669 | 26.5867 | 83.08% | 2031.6231 |
| ケース 3 (large) | 1 | 12 | 7015.1280 | 1060.9112 | 5954.2168 | 205.3178 | 1.0000 | 1.0000 | 206173.4141 | 1.0000 | 100.00% | 13.3666 |
| | 4 | 48 | 1753.7820 | 265.2278 | 1488.5542 | 51.3295 | 4.0000 | 100.00% | 51543.3535 | 4.0000 | 100.00% | 65.9680 |
| | 8 | 96 | 809.2728 | 166.2809 | 642.9919 | 22.1721 | 8.6684 | 108.36% | 22316.2432 | 9.2387 | 115.48% | 155.8664 |
| | 16 | 192 | 425.1542 | 102.9524 | 322.2018 | 11.1104 | 16.5002 | 103.13% | 11202.2489 | 18.4046 | 115.03% | 315.7542 |
| | 32 | 384 | 244.5288 | 71.9775 | 172.5513 | 5.9500 | 28.6884 | 89.65% | 6016.0719 | 34.2704 | 107.10% | 593.9405 |
| | 48 | 576 | 175.8119 | 63.1688 | 112.6431 | 3.8842 | 39.9013 | 83.13% | 3943.5287 | 52.2815 | 108.92% | 911.5584 |

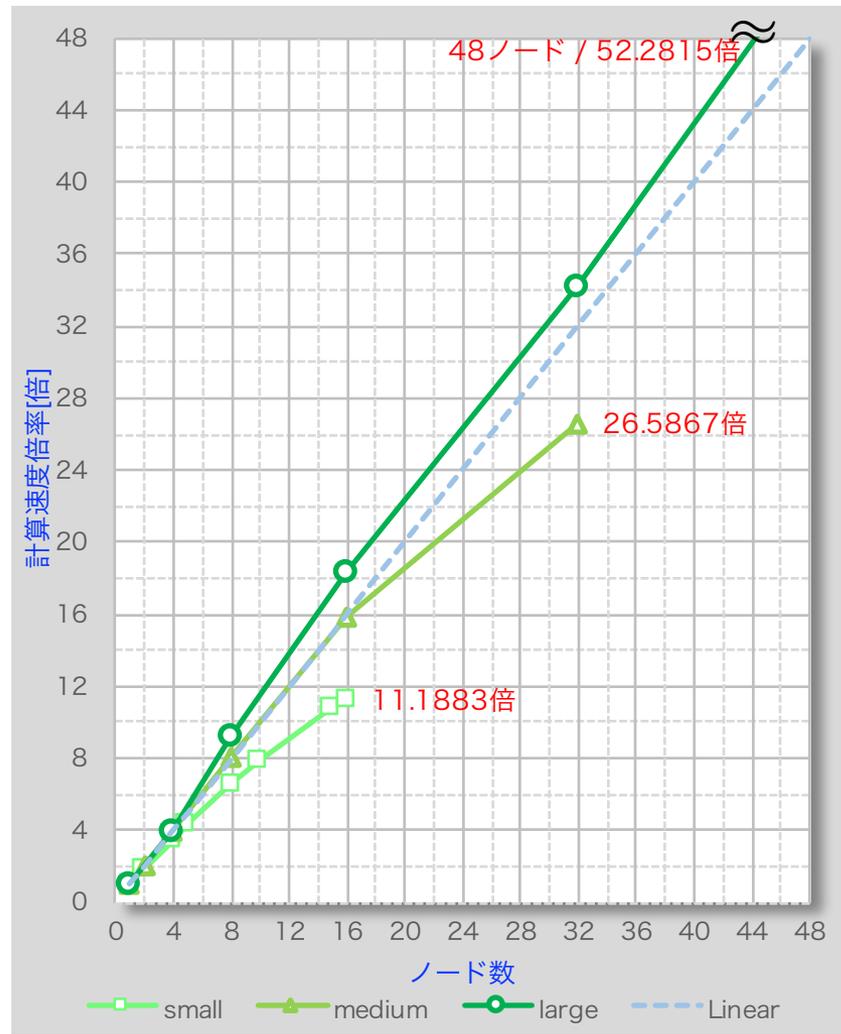
※グレー網掛け部分は実測値ではなく、再小実測値から並列化効率100%となる理論値を算出して記載しています。

Aシステム 【スケーラビリティ】

実測値 (30 iteration)



理論値 (1000 iteration)



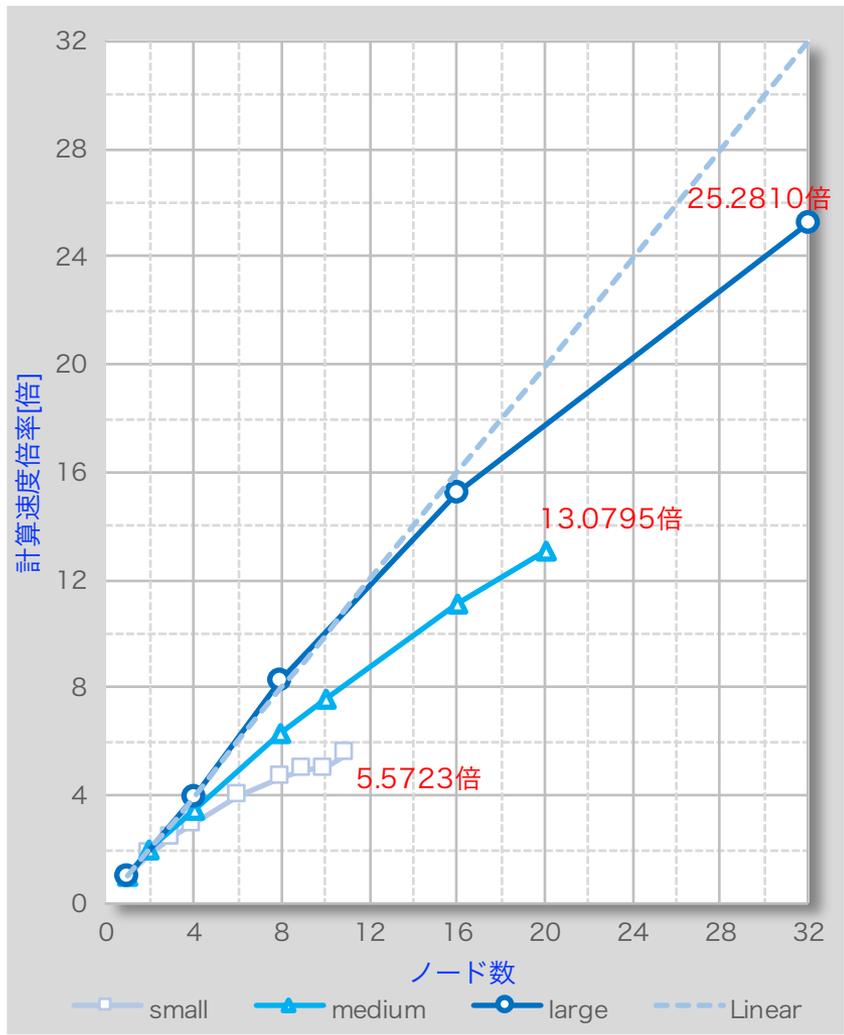
Dシステム 【結果データ】

| | | | 実測値 (30 iteration) | | | | | | 理論値 (1000 iteration) | | | 理論値 |
|---------------|----------------|-----|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------|----------|----------------------|------------|----------|-----------------|
| | ノード数 | コア数 | 経過時間[秒] | | | | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | 経過時間[秒] | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | iteration数 /1時間 |
| | | | 0-30 iteration [秒] | 0-1 iteration [秒] | 1-30 iteration [秒] | 1-30 iteration 平均[秒] | | | | | | |
| ケース 1 (small) | 1 | 20 | 127.9841 | 22.5473 | 105.4368 | 3.6358 | 1.0000 | 100.00% | 3654.6636 | 1.0000 | 100.00% | 984.9650 |
| | 2 | 40 | 70.2015 | 14.7466 | 55.4549 | 1.9122 | 1.8231 | 91.15% | 1925.0716 | 1.8985 | 94.92% | 1875.8999 |
| | 3 | 60 | 51.8302 | 12.4298 | 39.4004 | 1.3586 | 2.4693 | 82.31% | 1369.7053 | 2.6682 | 88.94% | 2641.5712 |
| | 4 | 80 | 43.2252 | 11.6840 | 31.5413 | 1.0876 | 2.9609 | 74.02% | 1098.2263 | 3.3278 | 83.19% | 3300.2066 |
| | 6 | 120 | 32.0037 | 10.2247 | 21.7790 | 0.7510 | 3.9990 | 66.65% | 760.4747 | 4.8058 | 80.10% | 4780.9871 |
| | 8 | 160 | 27.3195 | 9.4444 | 17.8750 | 0.6164 | 4.6847 | 58.56% | 625.2079 | 5.8455 | 73.07% | 5826.2318 |
| | 9 | 180 | 25.7199 | 9.3701 | 16.3499 | 0.5638 | 4.9761 | 55.29% | 572.5943 | 6.3826 | 70.92% | 6369.7583 |
| | 10 | 200 | 25.4459 | 9.1196 | 16.3263 | 0.5630 | 5.0297 | 50.30% | 571.5333 | 6.3945 | 63.94% | 6379.3813 |
| | 11 | 220 | 22.9681 | 9.0511 | 13.9170 | 0.4799 | 5.5723 | 50.66% | 488.4675 | 7.4819 | 68.02% | 7483.7595 |
| | ケース 2 (medium) | 1 | 20 | 696.6790 | 202.3418 | 494.3372 | 17.0461 | 1.0000 | 100.00% | 17231.4060 | 1.0000 | 100.00% |
| 2 | | 40 | 348.3395 | 101.1709 | 247.1686 | 8.5231 | 2.0000 | 100.00% | 8615.7030 | 2.0000 | 100.00% | 411.5135 |
| 4 | | 80 | 198.2722 | 71.6953 | 126.5769 | 4.3647 | 3.5138 | 87.84% | 4432.0513 | 3.8879 | 97.20% | 809.3690 |
| 8 | | 160 | 109.7492 | 44.4809 | 65.2684 | 2.2506 | 6.3479 | 79.35% | 2292.8630 | 7.5152 | 93.94% | 1580.7865 |
| 10 | | 200 | 91.9755 | 40.0477 | 51.9278 | 1.7906 | 7.5746 | 75.75% | 1828.8692 | 9.4219 | 94.22% | 1989.1203 |
| 16 | | 320 | 62.4389 | 27.4954 | 34.9435 | 1.2049 | 11.1578 | 69.74% | 1231.2387 | 13.9952 | 87.47% | 2965.8614 |
| 20 | | 400 | 53.2651 | 25.6094 | 27.6558 | 0.9536 | 13.0795 | 65.40% | 978.3026 | 17.6136 | 88.07% | 3749.1280 |
| ケース 3 (large) | 1 | 20 | 2589.5832 | 466.8304 | 2122.7528 | 73.1984 | 1.0000 | 100.00% | 73592.0044 | 1.0000 | 100.00% | 43.8038 |
| | 4 | 80 | 647.3958 | 116.7076 | 530.6882 | 18.2996 | 4.0000 | 100.00% | 18398.0011 | 4.0000 | 100.00% | 191.3481 |
| | 8 | 160 | 310.4801 | 77.3570 | 233.1231 | 8.0387 | 8.3406 | 104.26% | 8108.0455 | 9.0764 | 113.46% | 439.2090 |
| | 16 | 320 | 169.4201 | 49.5144 | 119.9057 | 4.1347 | 15.2850 | 95.53% | 4180.0577 | 17.6055 | 110.03% | 859.7091 |
| | 32 | 640 | 102.4318 | 38.2069 | 64.2249 | 2.2147 | 25.2810 | 79.00% | 2250.6430 | 32.6982 | 102.18% | 1609.2866 |

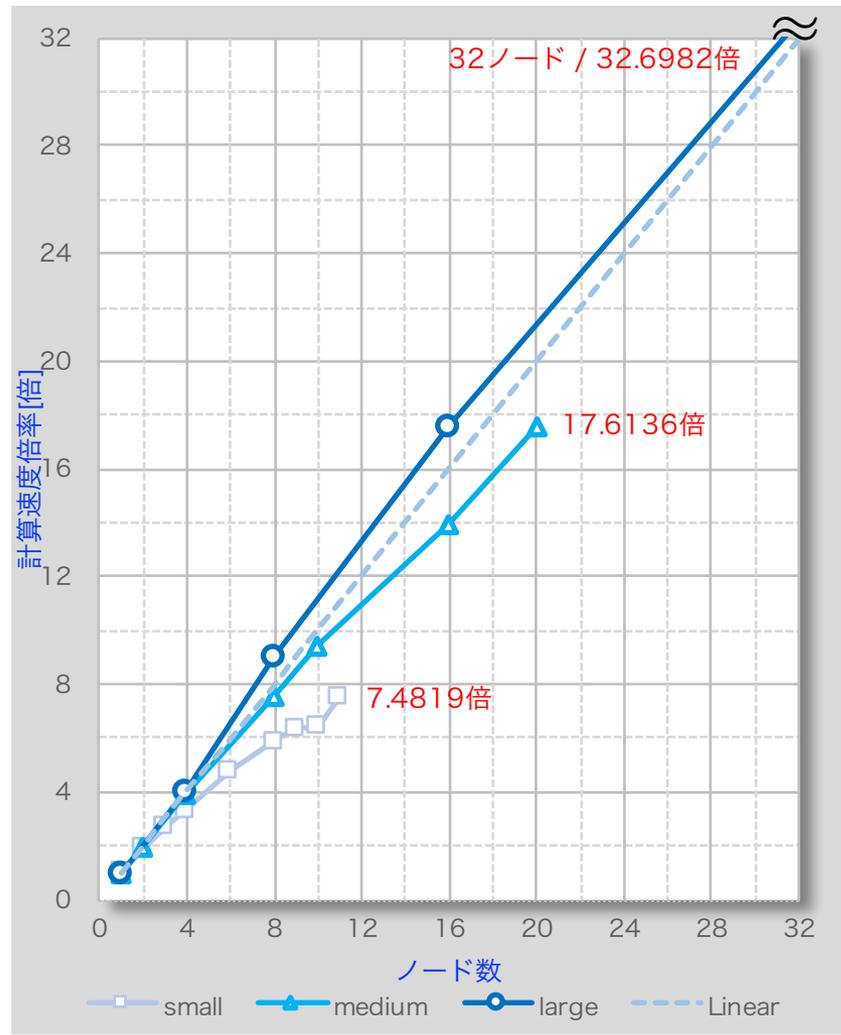
※グレー網掛け部分は実測値ではなく、再小実測値から並列化効率100%となる理論値を算出して記載しています。

Dシステム 【スケーラビリティ】

実測値 (30 iteration)



理論値 (1000 iteration)



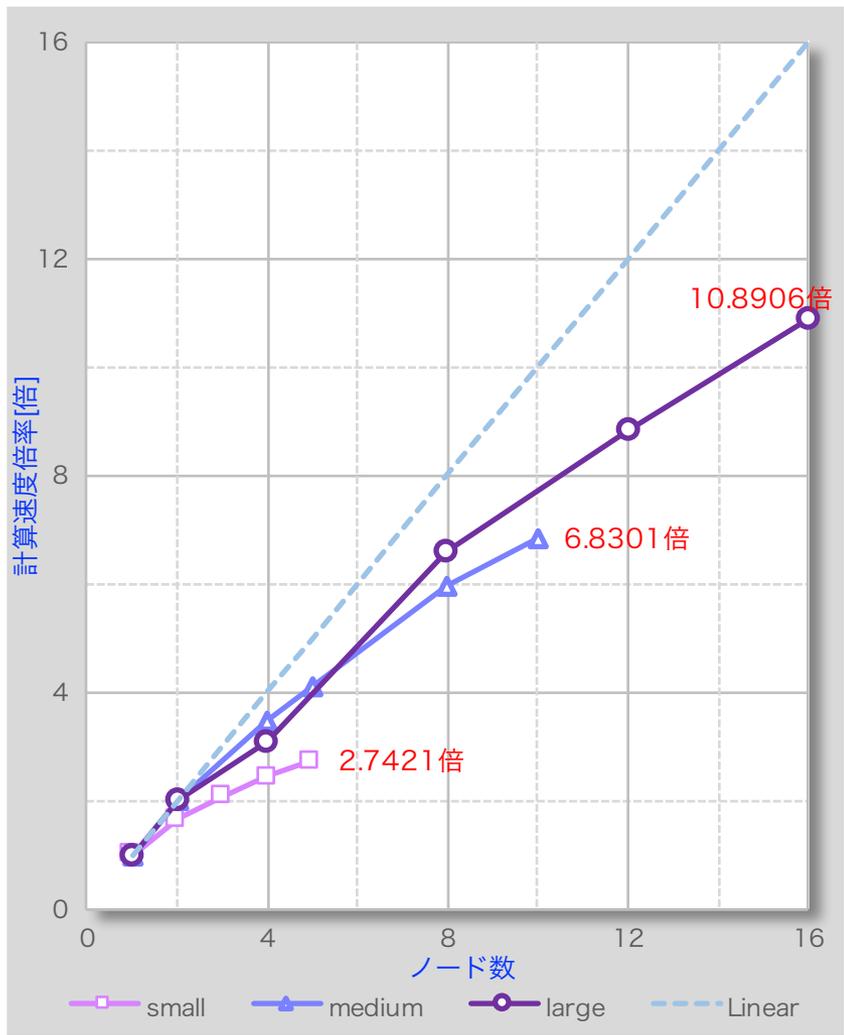
Fシステム 【結果データ】

| | | | 実測値 (30 iteration) | | | | | | 理論値 (1000 iteration) | | | 理論値 |
|---------------|------|-----|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------|----------|----------------------|-----------|----------|-----------------|
| | ノード数 | コア数 | 経過時間[秒] | | | | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | 経過時間[秒] | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | 1時間あたりiteration |
| | | | 0-30 iteration [秒] | 0-1 iteration [秒] | 1-30 iteration [秒] | 1-30 iteration 平均[秒] | | | | | | |
| ケース1 (small) | 1 | 40 | 73.4721 | 17.0620 | 56.4101 | 1.9452 | 1.0000 | 100.00% | 1960.2920 | 1.0000 | 100.00% | 1842.9616 |
| | 2 | 80 | 43.9468 | 13.9875 | 29.9593 | 1.0331 | 1.6718 | 83.59% | 1046.0337 | 1.8740 | 93.70% | 3472.1880 |
| | 3 | 120 | 35.2405 | 13.4386 | 21.8019 | 0.7518 | 2.0849 | 69.50% | 764.4755 | 2.5642 | 85.47% | 4771.7045 |
| | 4 | 160 | 30.0090 | 12.9636 | 17.0454 | 0.5878 | 2.4483 | 61.21% | 600.1482 | 3.2663 | 81.66% | 6103.7642 |
| | 5 | 200 | 26.7941 | 13.6839 | 13.1102 | 0.4521 | 2.7421 | 54.84% | 465.3063 | 4.2129 | 84.26% | 7934.0204 |
| ケース2 (medium) | 1 | 40 | 417.3778 | 146.3715 | 271.0063 | 9.3450 | 1.0000 | 100.00% | 9482.0706 | 1.0000 | 100.00% | 370.5679 |
| | 2 | 80 | 208.6889 | 73.1858 | 135.5031 | 4.6725 | 2.0000 | 100.00% | 4741.0353 | 2.0000 | 100.00% | 755.7988 |
| | 4 | 160 | 120.4368 | 51.4972 | 68.9396 | 2.3772 | 3.4655 | 86.64% | 2426.3482 | 3.9080 | 97.70% | 1493.7060 |
| | 5 | 200 | 101.6362 | 46.7503 | 54.8859 | 1.8926 | 4.1066 | 82.13% | 1937.4759 | 4.8940 | 97.88% | 1878.4255 |
| | 8 | 320 | 69.9843 | 35.3679 | 34.6164 | 1.1937 | 5.9639 | 74.55% | 1227.8446 | 7.7225 | 96.53% | 2987.2785 |
| | 10 | 400 | 61.1086 | 33.1795 | 27.9291 | 0.9631 | 6.8301 | 68.30% | 995.2875 | 9.5270 | 95.27% | 3704.5903 |
| ケース3 (large) | 1 | 40 | 1313.5784 | 258.5520 | 1055.0264 | 36.3802 | 1.0000 | 100.00% | 36602.3925 | 1.0000 | 100.00% | 92.8479 |
| | 2 | 80 | 656.7892 | 129.2760 | 527.5132 | 18.1901 | 2.0000 | 100.00% | 18301.1962 | 2.0000 | 100.00% | 191.8028 |
| | 4 | 160 | 422.3716 | 157.2952 | 265.0764 | 9.1406 | 3.1100 | 77.75% | 9288.7202 | 3.9405 | 98.51% | 377.6402 |
| | 8 | 320 | 199.2772 | 66.3575 | 132.9198 | 4.5834 | 6.5917 | 82.40% | 4645.2137 | 7.8796 | 98.49% | 771.9587 |
| | 12 | 480 | 148.4124 | 58.8506 | 89.5618 | 3.0883 | 8.8509 | 73.76% | 3144.1015 | 11.6416 | 97.01% | 1147.6193 |
| | 16 | 640 | 120.6155 | 53.6162 | 66.9993 | 2.3103 | 10.8906 | 68.07% | 2361.6262 | 15.4988 | 96.87% | 1536.0182 |

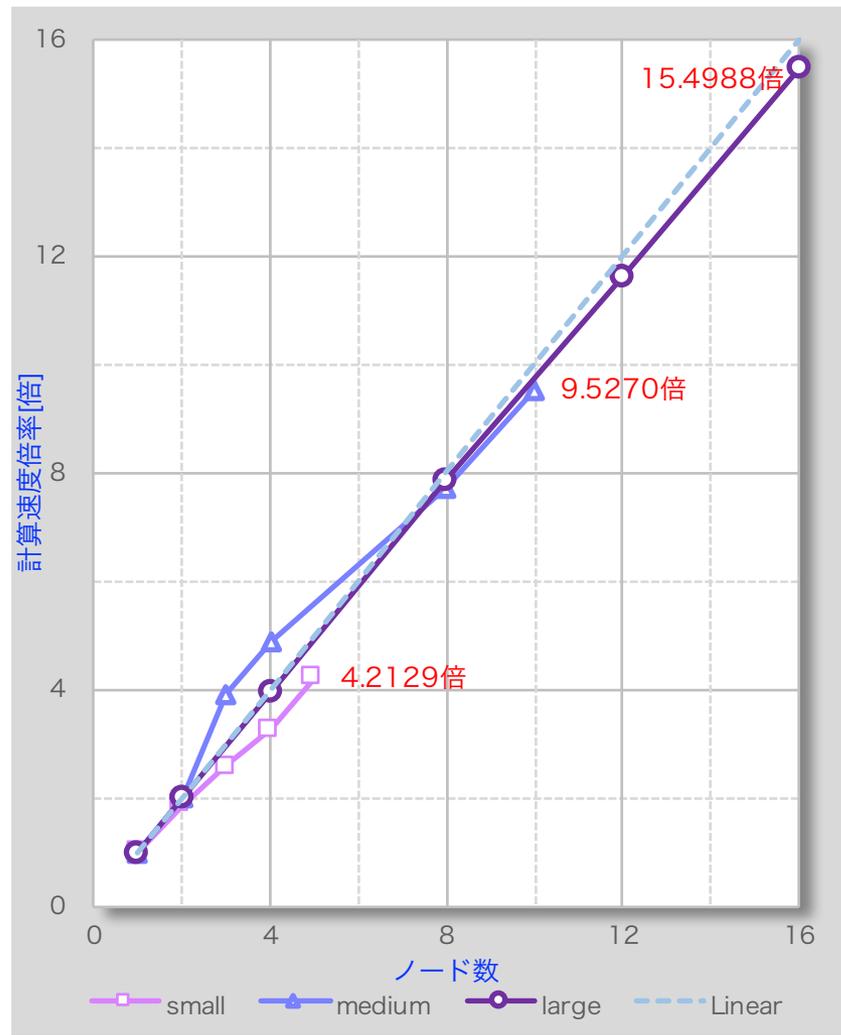
※グレー網掛け部分は実測値ではなく、再小実測値から並列化効率100%となる理論値を算出して記載しています。

Fシステム 【スケーラビリティ】

実測値 (30 iteration)



理論値 (1000 iteration)



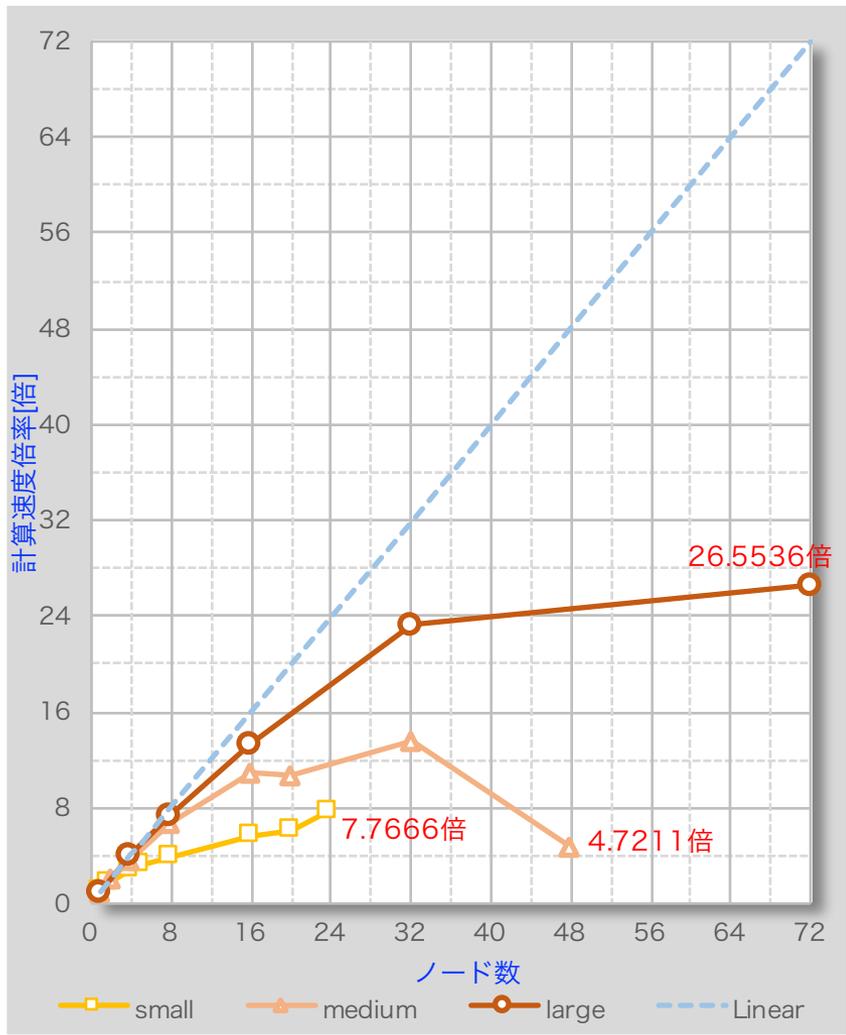
Hシステム 【結果データ】

| | | | 実測値 (30 iteration) | | | | | | 理論値 (1000 iteration) | | | 理論値 |
|---------------|------|-----|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-----------|----------|----------------------|-----------|----------|----------------|
| | ノード数 | コア数 | 経過時間[秒] | | | | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | 経過時間[秒] | 計算速度倍率[倍] | 並列化効率[%] | iteration数/1時間 |
| | | | 0-30 iteration [秒] | 0-1 iteration [秒] | 1-30 iteration [秒] | 1-30 iteration 平均[秒] | | | | | | |
| ケース1 (small) | 1 | 8 | 321.1959 | 45.4613 | 275.7346 | 9.5081 | 1.0000 | 100.00% | 9544.0432 | 1.0000 | 100.00% | 374.8436 |
| | 2 | 16 | 178.2952 | 30.8548 | 147.4404 | 5.0842 | 1.8015 | 90.07% | 5109.9234 | 1.8677 | 93.39% | 703.0138 |
| | 4 | 32 | 114.9660 | 29.3146 | 85.6514 | 2.9535 | 2.7938 | 69.85% | 2979.8563 | 3.2029 | 80.07% | 1209.9694 |
| | 5 | 40 | 97.4031 | 29.3701 | 68.0330 | 2.3460 | 3.2976 | 65.95% | 2372.9896 | 4.0219 | 80.44% | 1523.0300 |
| | 8 | 64 | 82.4298 | 28.2035 | 54.2263 | 1.8699 | 3.8966 | 48.71% | 1896.2061 | 5.0332 | 62.92% | 1911.1819 |
| | 16 | 128 | 56.5886 | 27.8959 | 28.6927 | 0.9894 | 5.6760 | 35.47% | 1016.3093 | 9.3909 | 58.69% | 3611.3640 |
| | 20 | 160 | 52.8730 | 24.2775 | 28.5955 | 0.9861 | 6.0749 | 30.37% | 1009.3418 | 9.4557 | 47.28% | 3627.3083 |
| | 24 | 192 | 41.3558 | 21.8024 | 19.5534 | 0.6743 | 7.7666 | 32.36% | 695.3830 | 13.7249 | 57.19% | 5307.8921 |
| ケース2 (medium) | 1 | 8 | 1737.1816 | 365.8988 | 1371.2828 | 47.2856 | 1.0000 | 100.00% | 47604.2270 | 1.0000 | 100.00% | 69.3950 |
| | 2 | 16 | 868.5908 | 182.9494 | 685.6414 | 23.6428 | 2.0000 | 100.00% | 23802.1135 | 2.0000 | 100.00% | 145.5281 |
| | 4 | 32 | 478.5053 | 130.8323 | 347.6730 | 11.9887 | 3.6304 | 90.76% | 12107.5677 | 3.9318 | 98.29% | 290.3692 |
| | 8 | 64 | 261.2678 | 88.5541 | 172.7137 | 5.9556 | 6.6490 | 83.11% | 6038.2443 | 7.8838 | 98.55% | 590.5995 |
| | 16 | 128 | 159.9196 | 71.3142 | 88.6054 | 3.0554 | 10.8628 | 67.89% | 3123.6181 | 15.2401 | 95.25% | 1155.9168 |
| | 20 | 160 | 161.4860 | 88.9224 | 72.5636 | 2.5022 | 10.7575 | 53.79% | 2588.6140 | 18.3899 | 91.95% | 1404.1997 |
| | 32 | 256 | 126.9650 | 78.4829 | 48.4821 | 1.6718 | 13.6824 | 42.76% | 1748.6080 | 27.2241 | 85.08% | 2107.4264 |
| | 48 | 384 | 367.9610 | 334.3296 | 33.6314 | 1.1597 | 4.7211 | 9.84% | 1492.8733 | 31.8877 | 66.43% | 2816.9530 |
| ケース3 (large) | 1 | 8 | 6584.9400 | 1096.5248 | 5488.4152 | 189.2557 | 1.0000 | 100.00% | 190162.9657 | 1.0000 | 100.00% | 14.2280 |
| | 4 | 32 | 1646.2350 | 274.1312 | 1372.1038 | 47.3139 | 4.0000 | 100.00% | 47540.7414 | 4.0000 | 100.00% | 71.2937 |
| | 8 | 64 | 880.0606 | 211.2298 | 668.8308 | 23.0631 | 7.4824 | 93.53% | 23251.2977 | 8.1786 | 102.23% | 147.9345 |
| | 16 | 128 | 495.4290 | 155.1276 | 340.3014 | 11.7345 | 13.2914 | 83.07% | 11877.9241 | 16.0098 | 100.06% | 294.5671 |
| | 32 | 256 | 282.1511 | 109.9485 | 172.2026 | 5.9380 | 23.3383 | 72.93% | 6042.0312 | 31.4734 | 98.35% | 588.7466 |
| | 72 | 576 | 247.9869 | 133.6962 | 114.2907 | 3.9411 | 26.5536 | 36.88% | 4070.8138 | 46.7137 | 64.88% | 880.5362 |

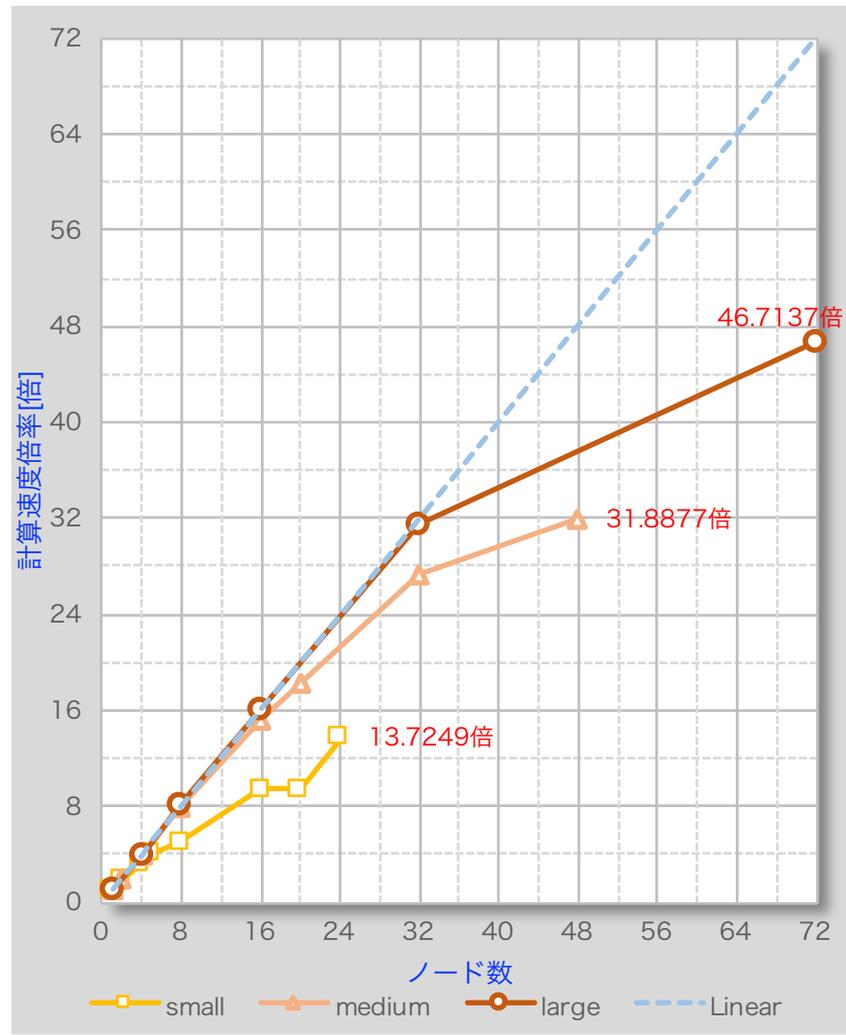
※グレー網掛け部分は実測値ではなく、再小実測値から並列化効率100%となる理論値を算出して記載しています。

Hシステム 【スケーラビリティ】

実測値 (30 iteration)



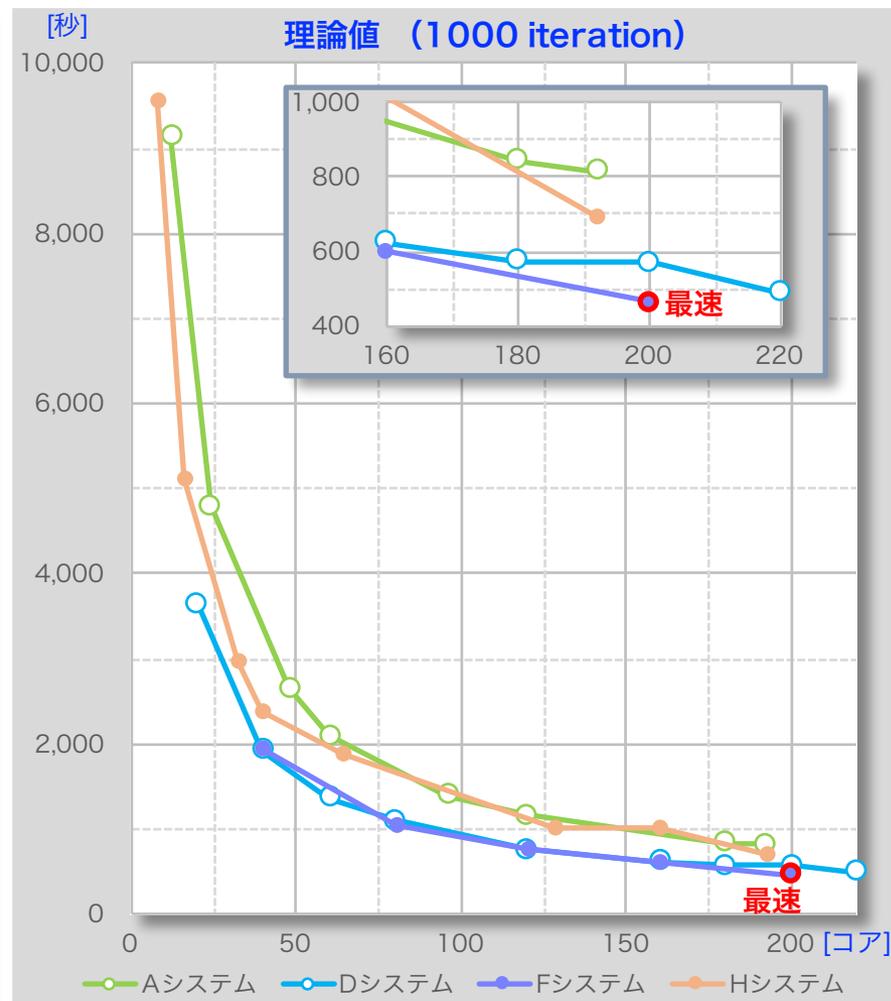
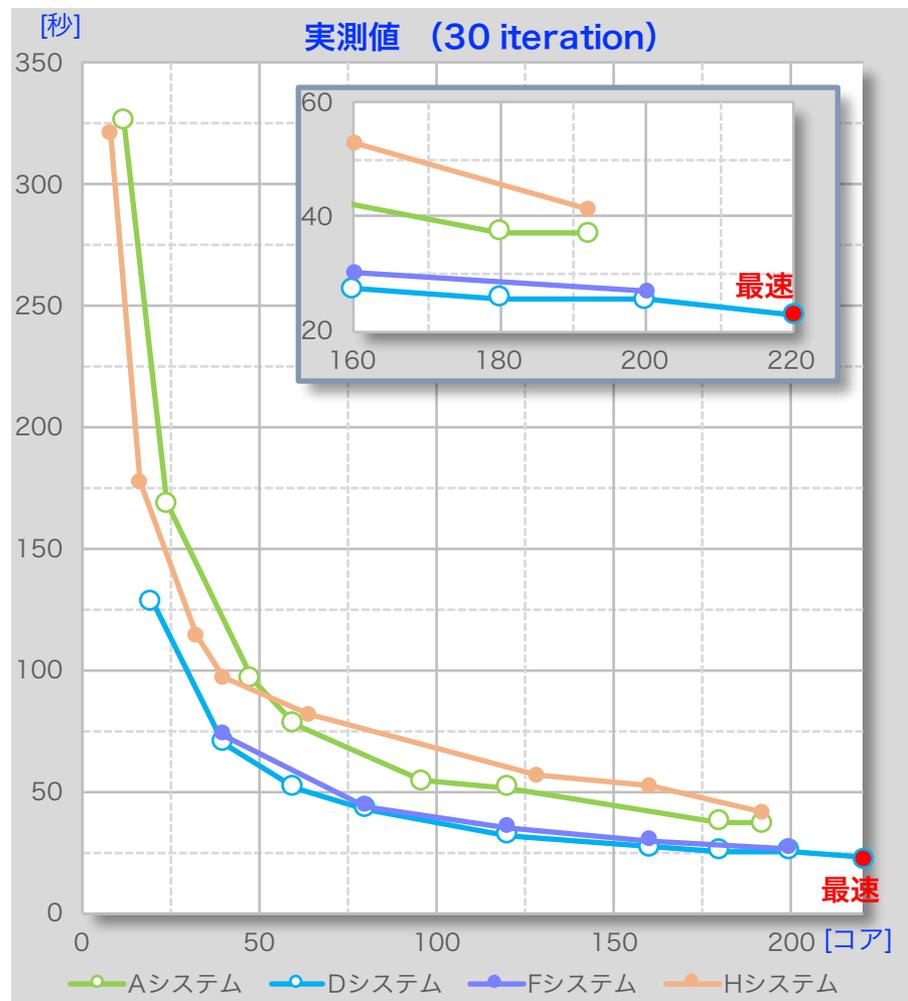
理論値 (1000 iteration)



モデル別ベンチマークテスト結果

ケース1 (small) 【経過時間】 (/コア)

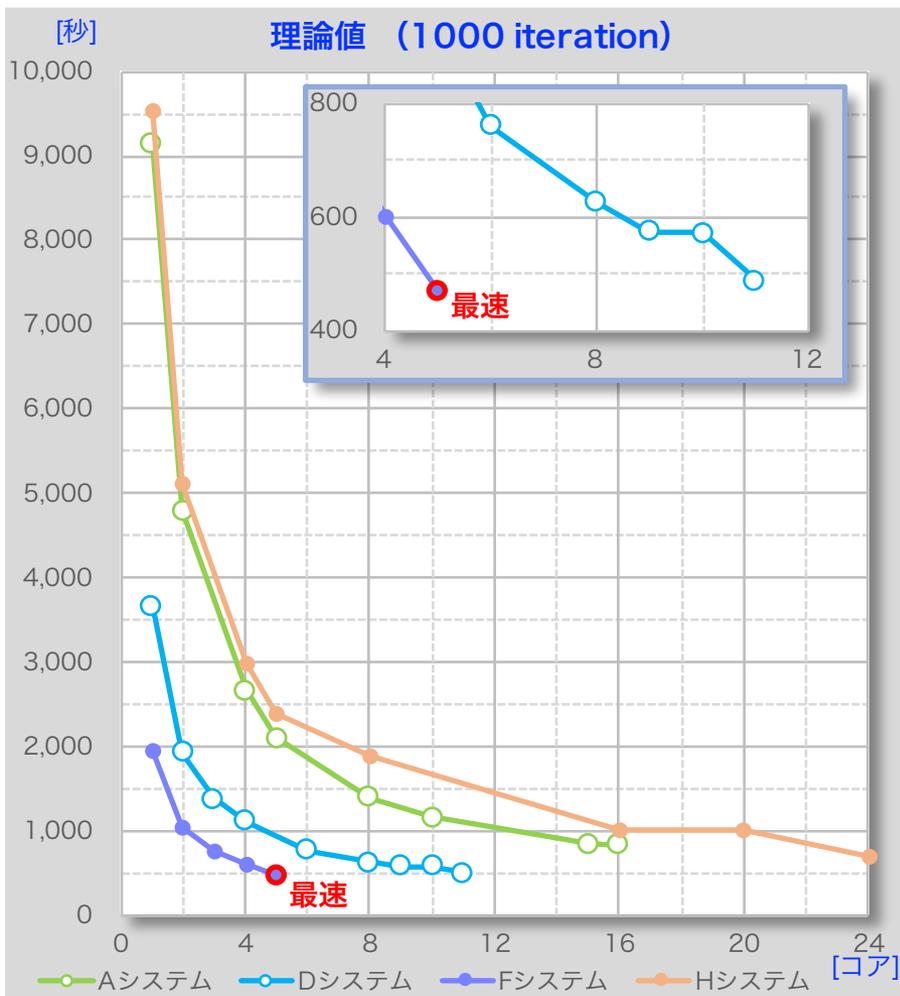
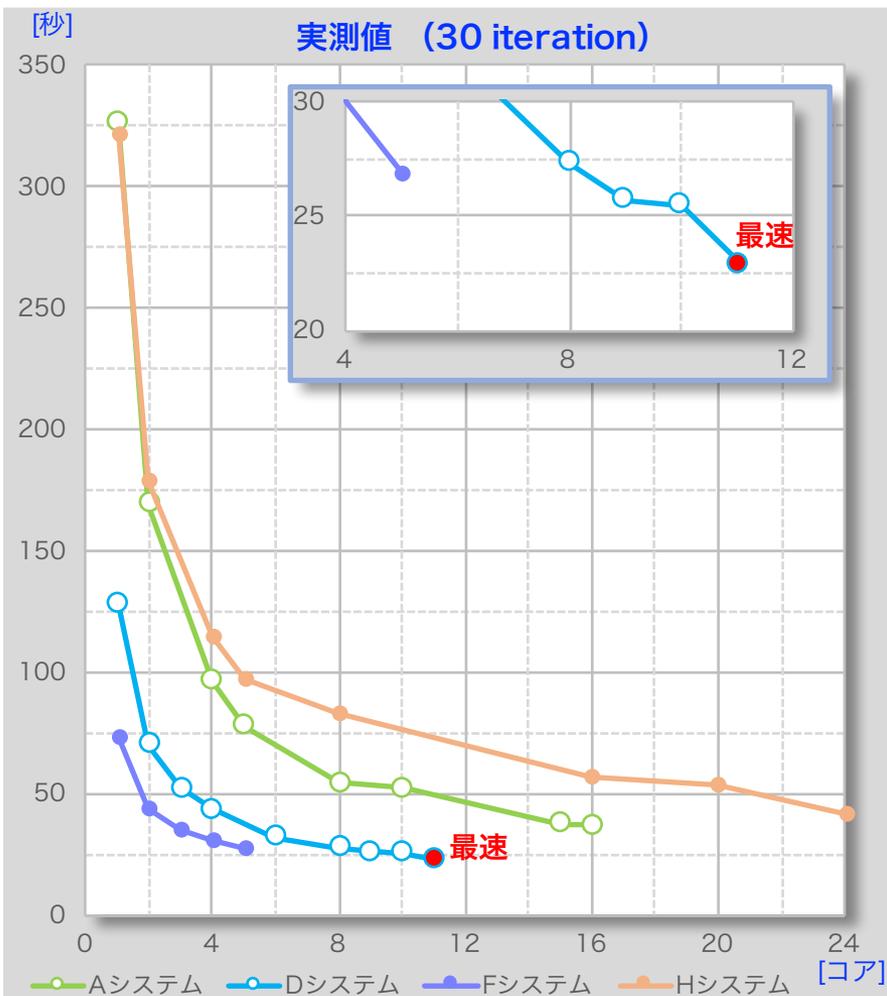
■ 使用コア数によるシステム別経過時間の推移



実測値 (30 iteration) ではDシステム220コアが最速、理論値 (1000 iteration) ではFシステム200コアが最速
 ➡ 0-1 iterationの速度がD>Fに対し、1-30 iterationの速度はD<Fであるため、長時間計算すれば理論的にFが早くなる

ケース 1 (small) 【経過時間】 (/ノード)

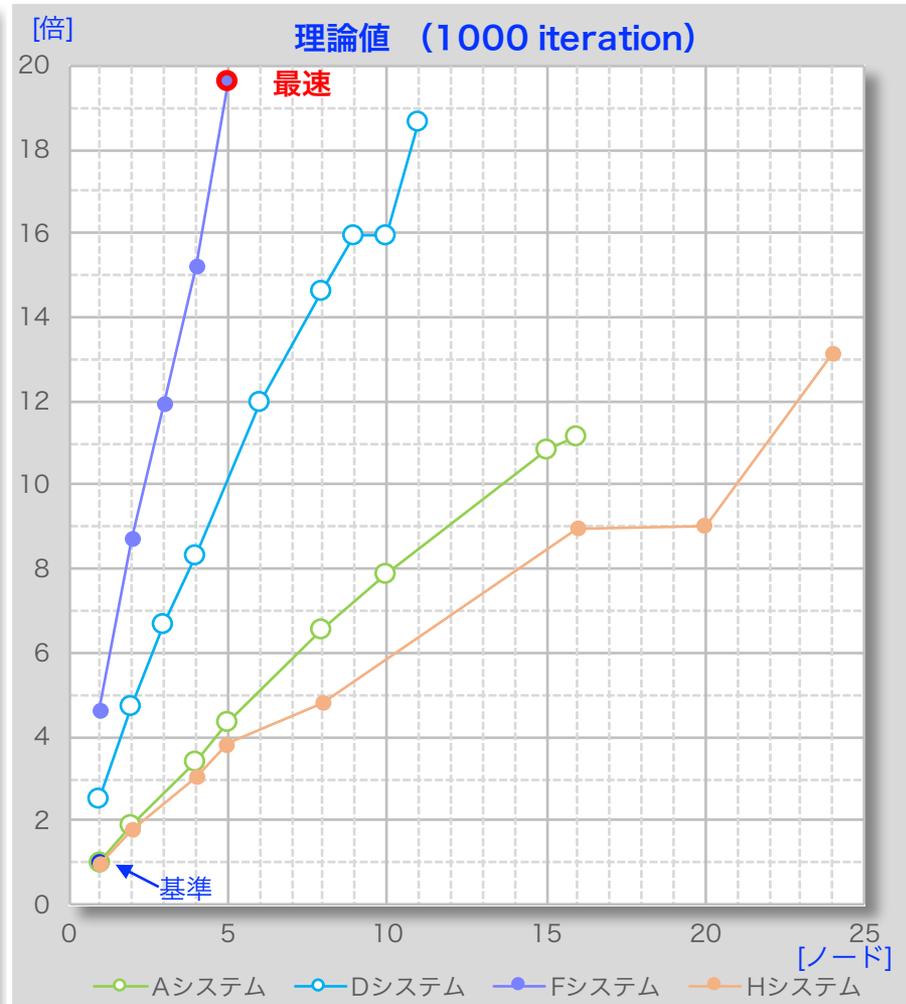
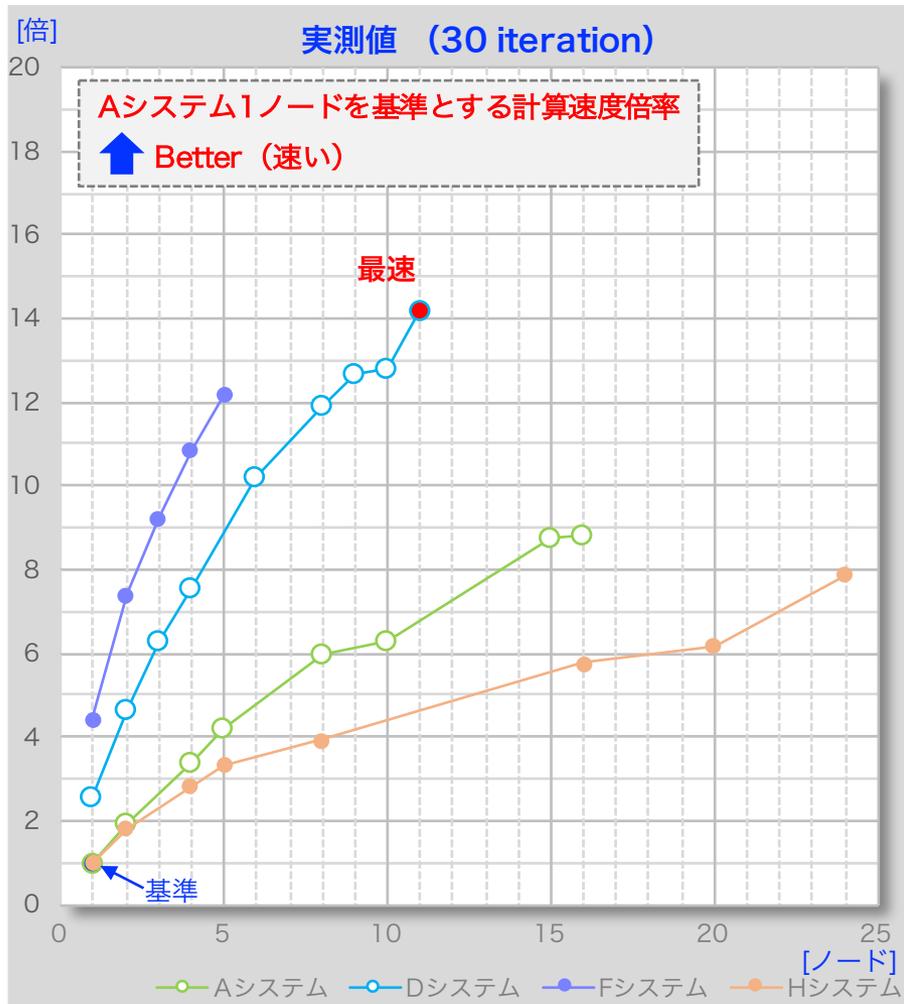
■ 使用ノード数によるシステム別経過時間の推移



使用ノード数 (同ノード数) での比較では、ノードあたりの理論演算性能が最も高いFシステムが高速
1~2ノードではAシステム≒Hシステム、2ノード超ではややAシステムが高速

ケース 1 (small) 【計算速度倍率】

■ Aシステム1ノードの経過時間を基準(= 1)とした場合の計算速度倍率

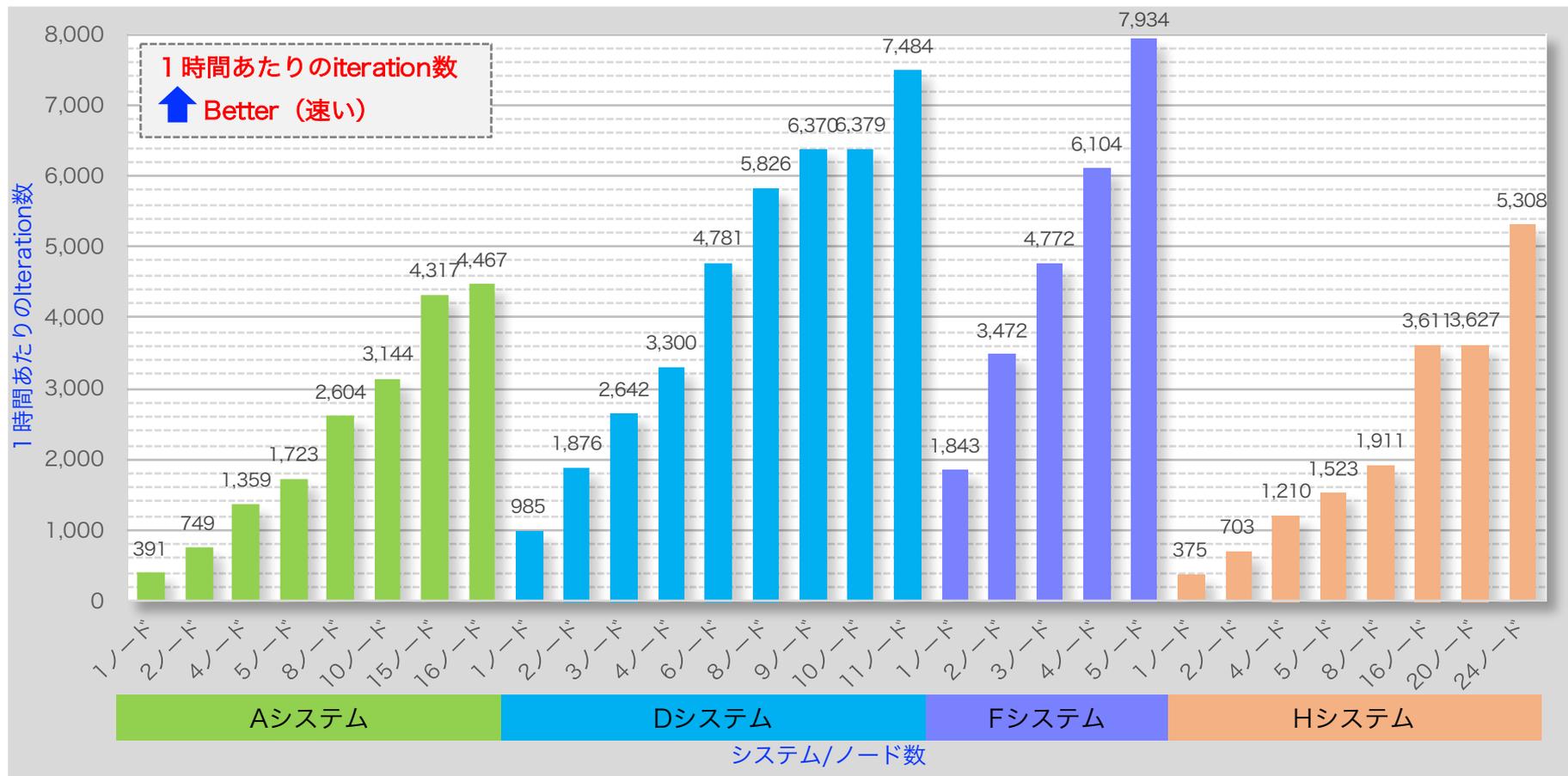


実測値 (30 iteration) ではオーバーヘッドを含む0-1 iterationの比重が高いため、計算速度倍率が出にくい傾向

➡ F/5ノード (200コア) の実測値 (30 iteration) が12倍に対し、理論値 (1000 iteration) では20倍

ケース 1 (small) 【1時間あたりのiteration数】

■ 1時間あたりのiteration数



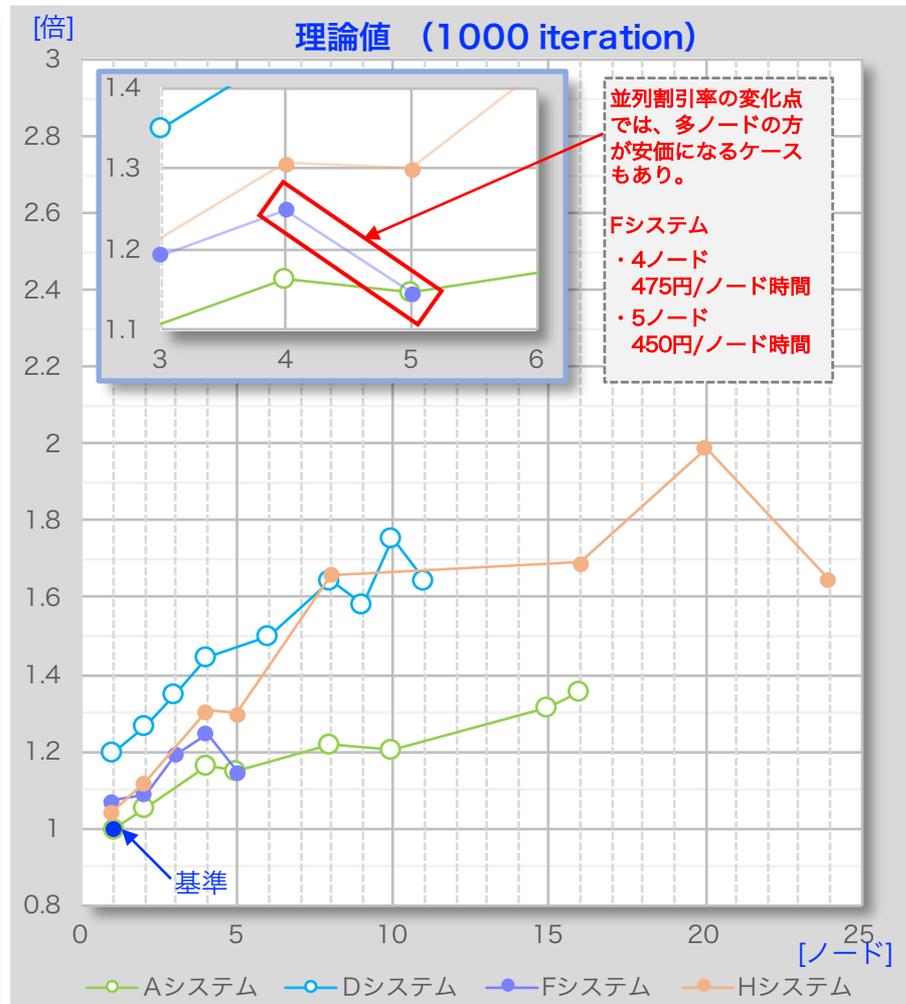
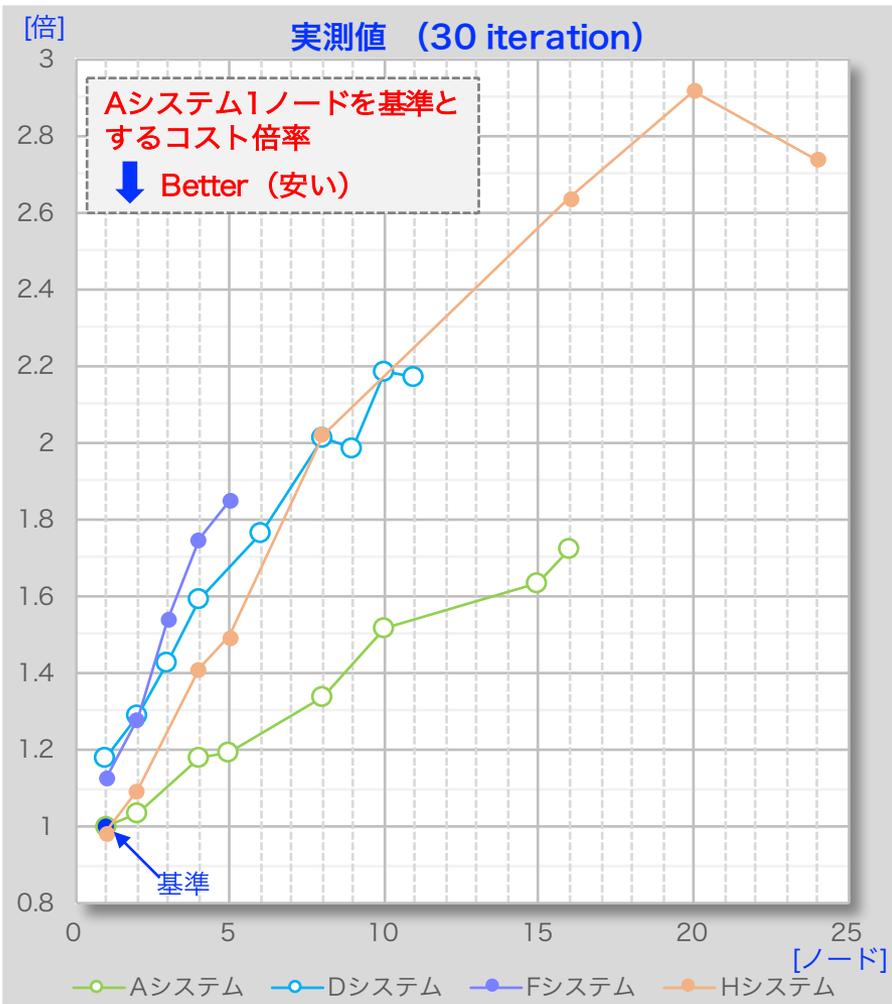
1時間あたりのiteration数（理論値）ではFシステム5ノードがベスト、次いでDシステム11ノード

➡ Dシステム：Fシステム対比では、160コア（D/8ノード・F/4ノード）までは同コア数比較でほぼイコール

Aシステム：Hシステム対比では、同コア数比較で192コア（A/16ノード・H/24ノード）を除き、Aシステムが高速

ケース 1 (small) 【コスト (計算資源利用料のみ)】

■ Aシステム1ノードの計算資源利用料を基準(= 1)とした場合のコスト倍率



各システムとも1ノードで実行した場合が最も安価 (STAR-CCM+のPoDライセンス相当額は含まず)

➡ ただし、1ノード実行は相当時間を要するため、次頁コストパフォーマンスを参照

ケース 1 (small) 【コストパフォーマンス】

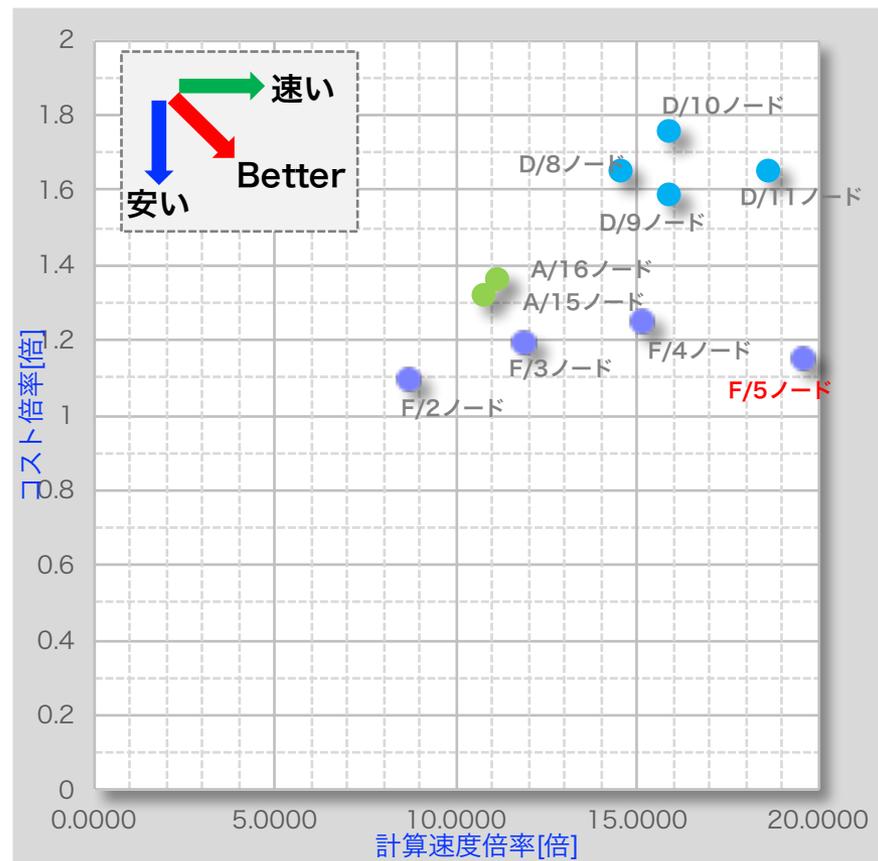
■ Aシステム1ノードを基準 (=1)とした場合のコストパフォーマンス

※理論値 (1000 iterationから算出)

| | システム名 | ノード数 | 計算速度倍率 | コスト倍率 | コストパフォーマンス指標 |
|----|-------|------|---------|--------|--------------|
| 1 | Fシステム | 5 | 19.6198 | 1.1468 | 17.1082 |
| 2 | Fシステム | 4 | 15.2116 | 1.2490 | 12.1785 |
| 3 | Dシステム | 11 | 18.6895 | 1.6480 | 11.3408 |
| 4 | Dシステム | 9 | 15.9436 | 1.5806 | 10.0872 |
| 5 | Fシステム | 3 | 11.9418 | 1.1933 | 10.0075 |
| 6 | Dシステム | 10 | 15.9732 | 1.7529 | 9.1122 |
| 7 | Dシステム | 8 | 14.6019 | 1.6436 | 8.8839 |
| 8 | Aシステム | 16 | 11.1883 | 1.3586 | 8.2354 |
| 9 | Aシステム | 15 | 10.8225 | 1.3167 | 8.2194 |
| 10 | Fシステム | 2 | 8.7274 | 1.0885 | 8.0177 |

Aシステム1ノードに比べ、
1.15倍のコストを払えば、
19倍の計算速度が得られる

| | | | | |
|-------|---|-------|-------|--------|
| Aシステム | 1 | 1.000 | 1.000 | 1.0000 |
|-------|---|-------|-------|--------|



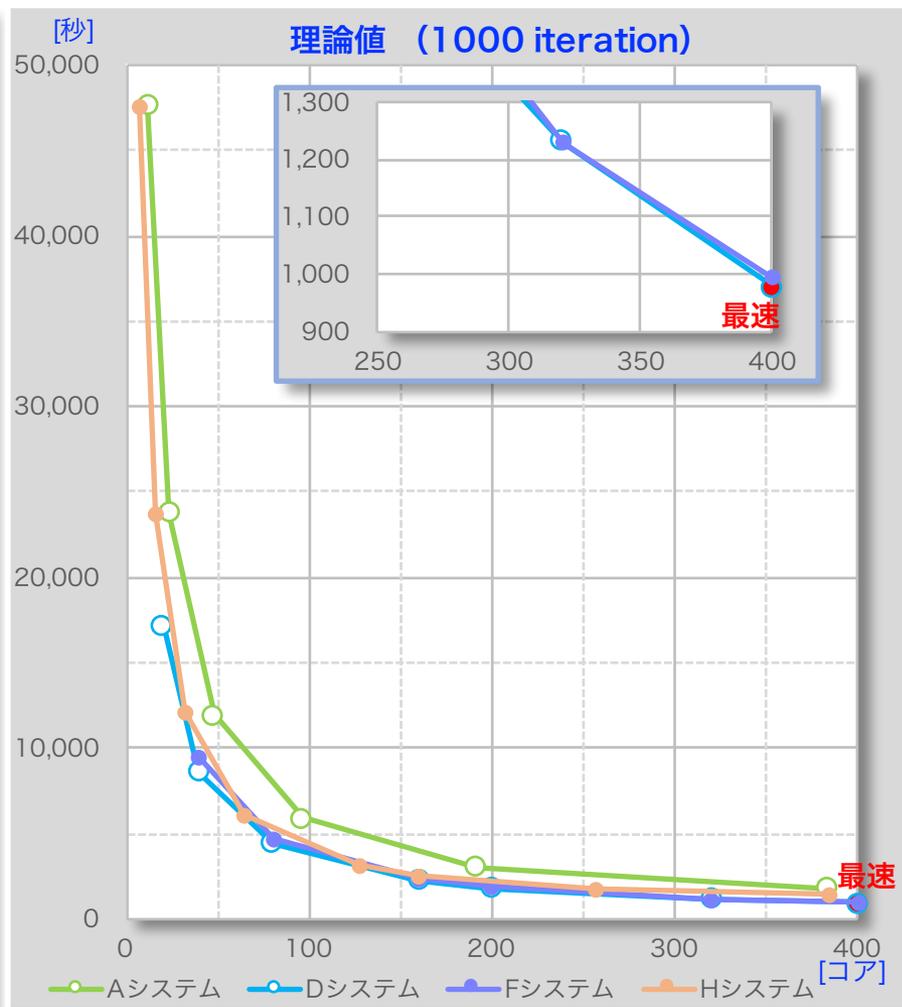
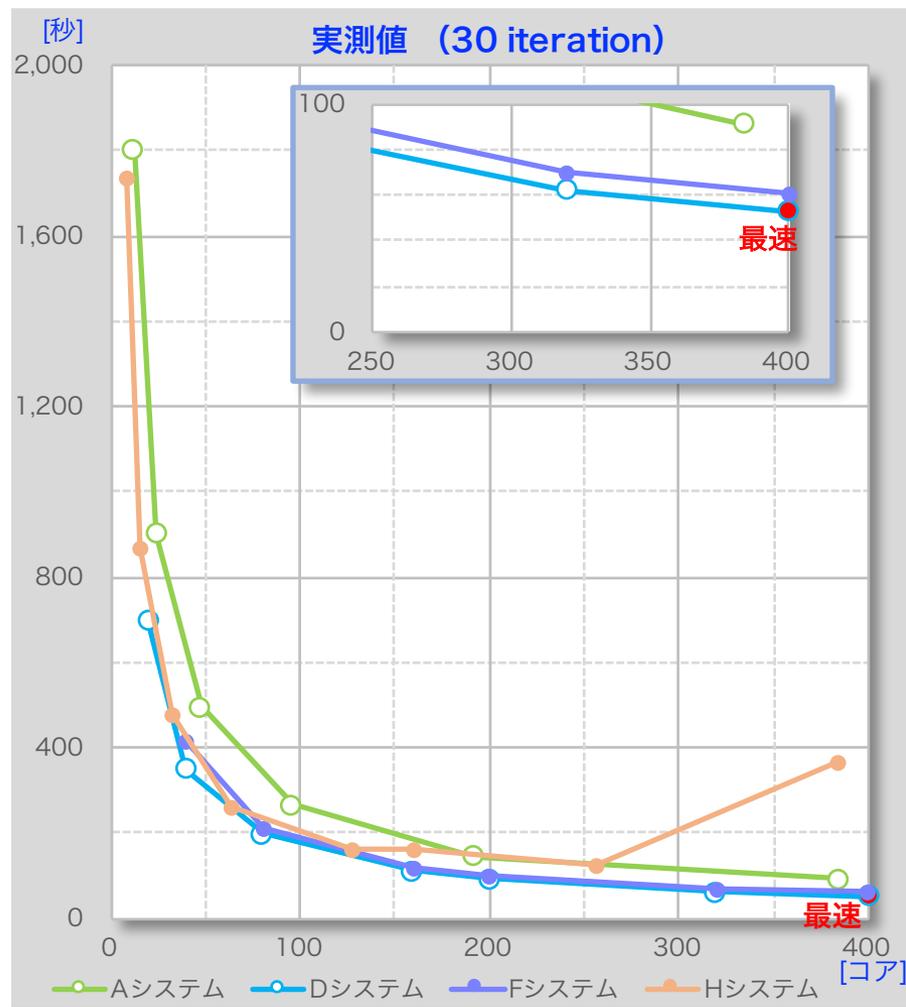
$$\text{コストパフォーマンス指標} = \frac{\text{計算速度倍率}}{\text{コスト倍率}} \quad (\text{higher is better})$$

ケース 1 (small) 【結果・まとめ】

- テスト実施ケース（～最大220コア）では概ね並列による高速化を確認
- 計算速度では、Aシステム・Hシステムに比して、Dシステム・Fシステムが高速
- コスト（計算資源利用料のみ）では、各システム1ノード利用時がもっとも低コストであるものの、コストパフォーマンスの観点からは、高並列利用による高速化を推奨

ケース2 (medium) 【経過時間】 (/コア)

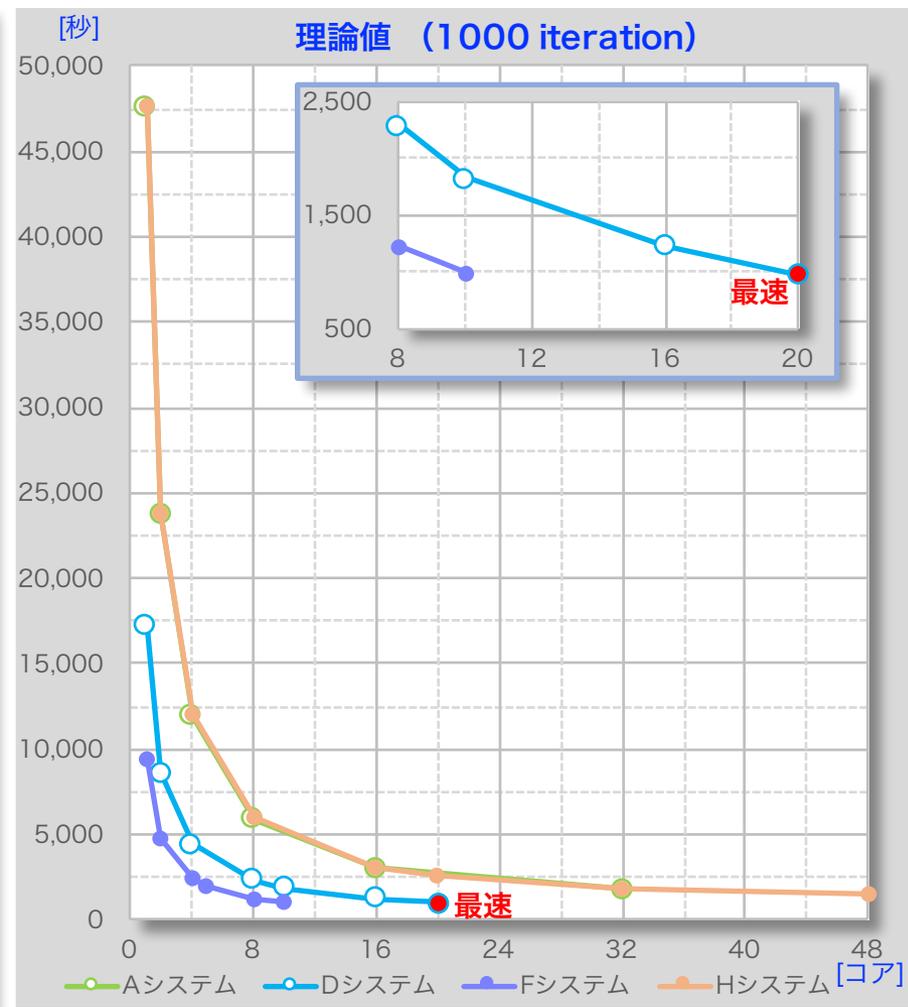
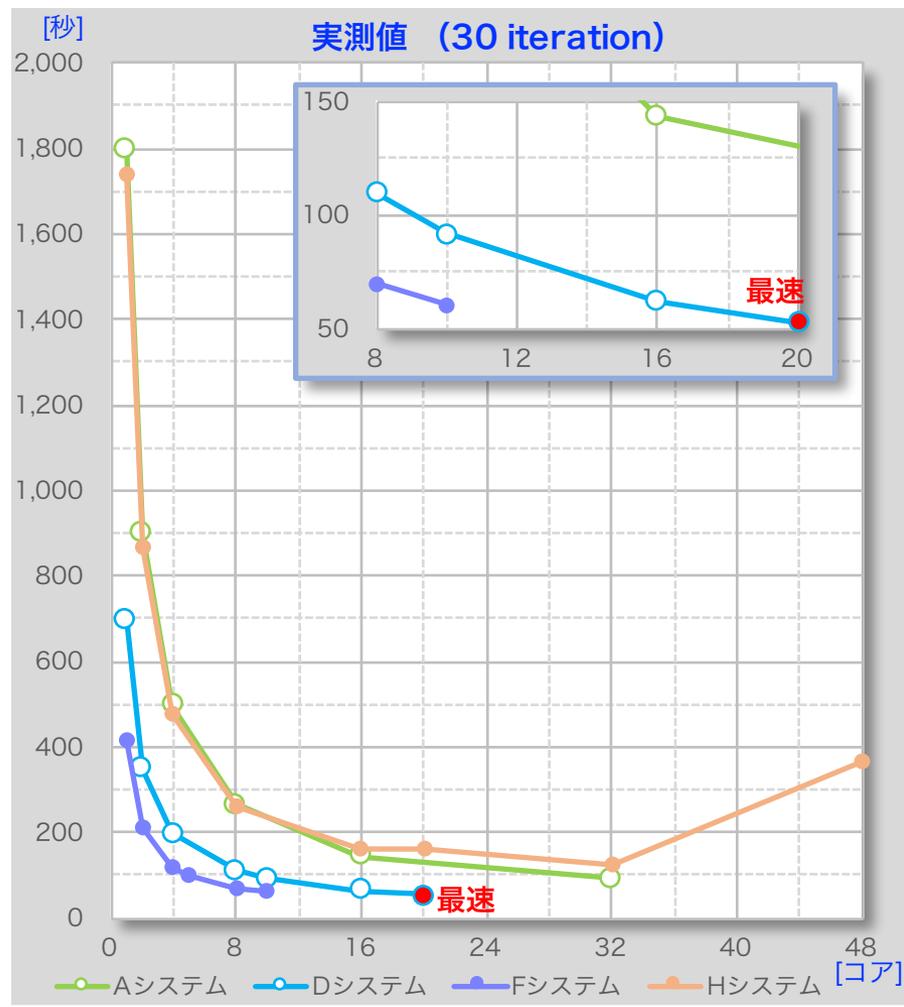
■ 使用コア数によるシステム別経過時間の推移



実測値 (30 iteration)、理論値 (1000 iteration) ともDシステム400コアが最速
Hシステム384コアはオーバーヘッドを含む0-1 iterationの遅さが影響、ただし理論値 (1000iteration) ではスケール

ケース2 (medium) 【経過時間】 (/ノード)

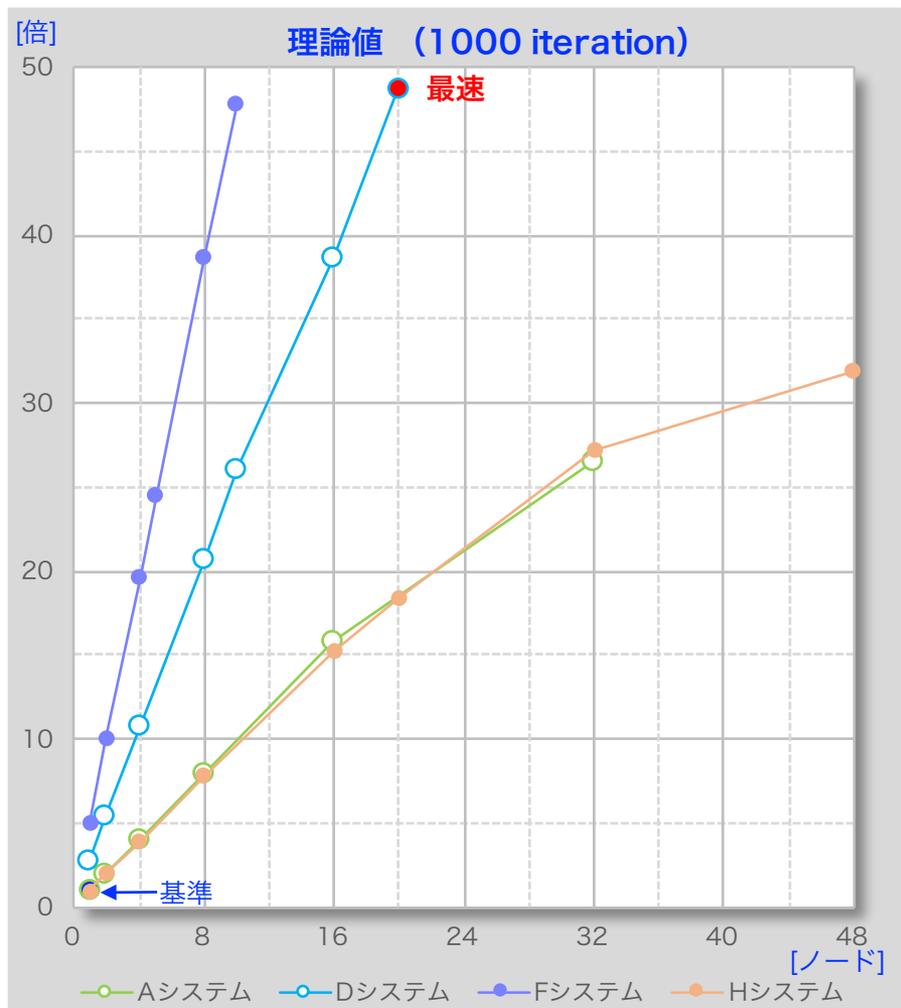
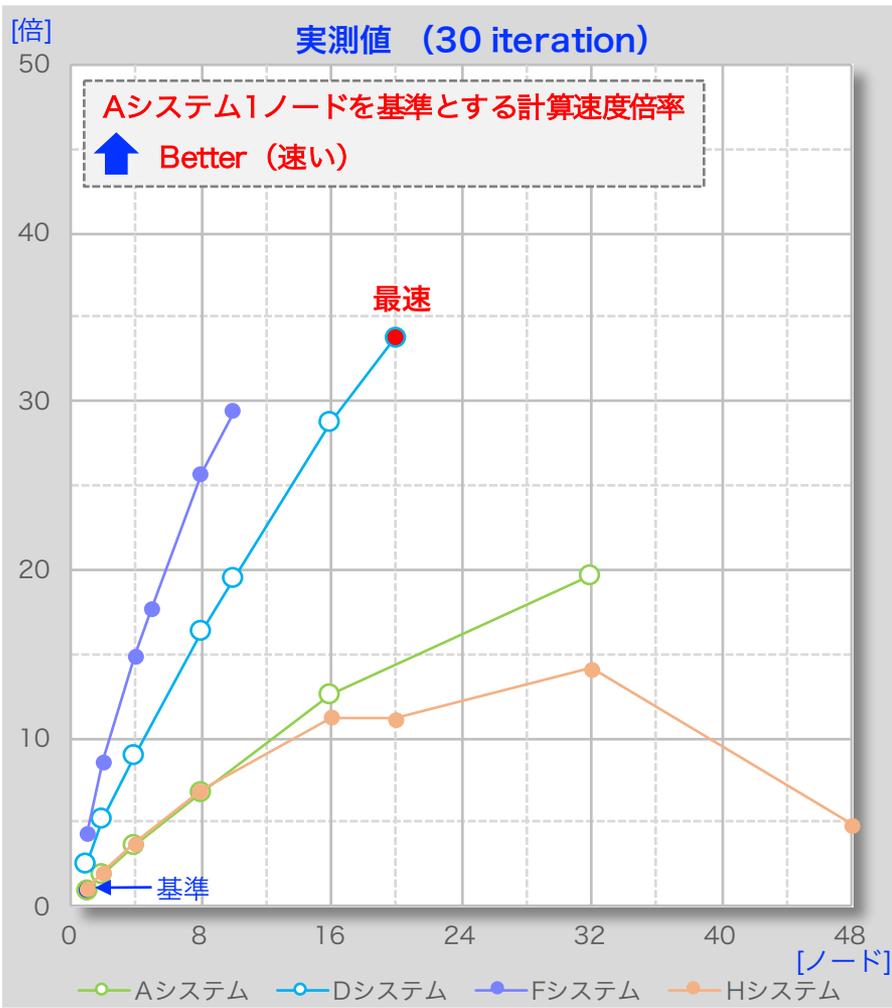
■ 使用ノード数によるシステム別経過時間の推移



使用ノード数 (同ノード数) での比較では、ノードあたりの理論演算性能が最も高いFシステムが高速
 理論値 (1000 iteration) では、AシステムとHシステムの差はほとんどなし (H: ノード間通信10Gbpsの影響なし)

ケース2 (medium) 【計算速度倍率】

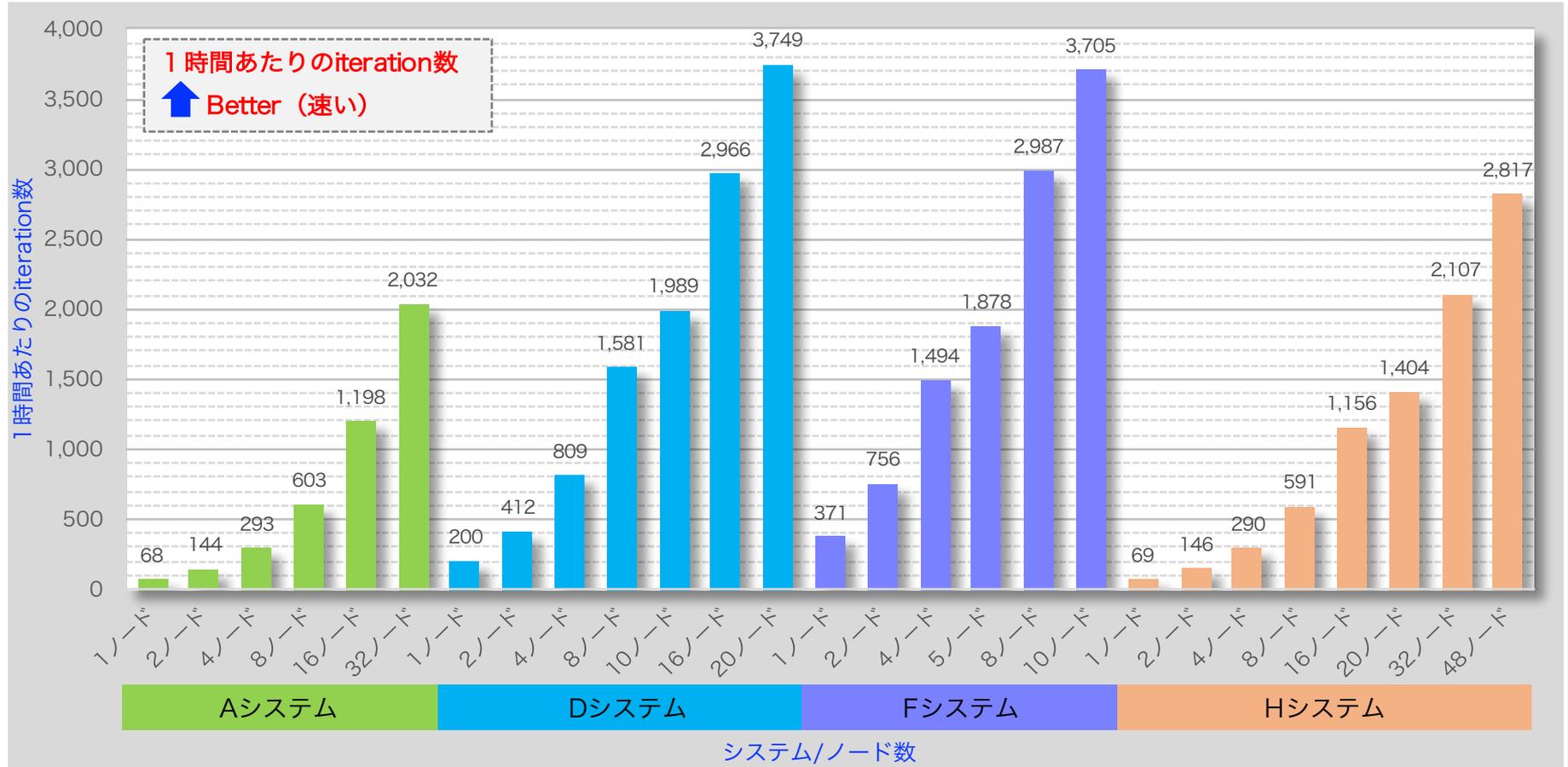
■ Aシステム1ノードの経過時間を基準(= 1)とした場合の計算速度倍率



実測値 (30 iteration)、理論値 (1000 iteration) とともに最速はDシステム20ノード
実測値 (30 iteration) は8ノードまで、理論値 (1000 iteration) では32ノードまでAシステム≒Hシステム

ケース2 (medium) 【1時間あたりのiteration数】

■ 1時間あたりのiteration数



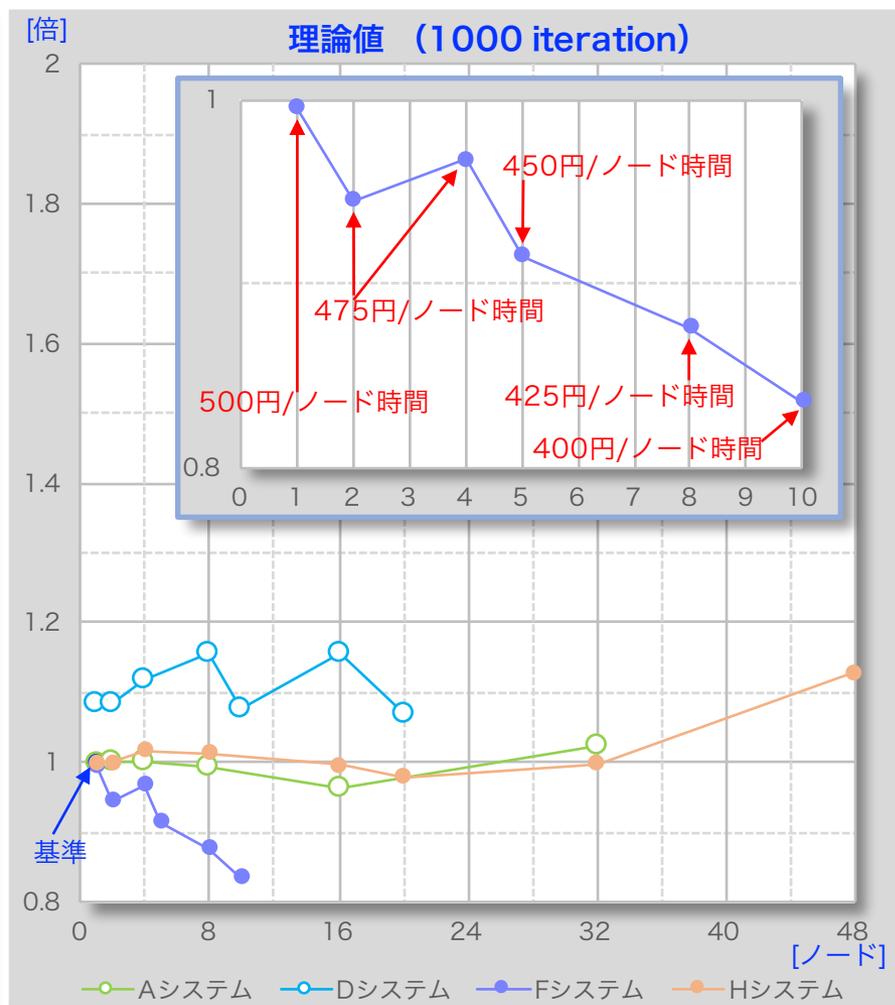
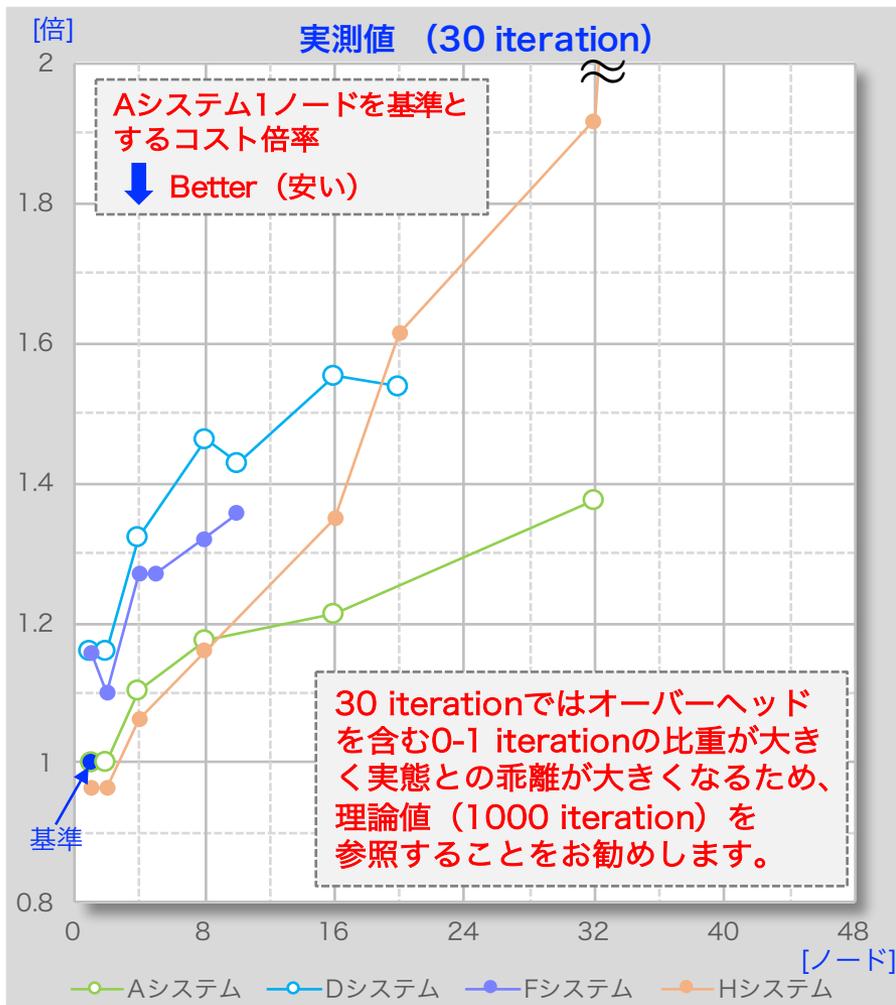
1時間あたりのiteration数（理論値）ではDシステム20ノードがベスト、次いでFシステム10ノード

➡ Dシステム：Fシステム対比では、同コア数比較（ノード数 D：F=2：1）でほぼイコール

Aシステム：Hシステム対比では、同ノード数比較（コア数 A：H=12：8）でほぼイコール

ケース2 (medium) 【コスト (計算資源利用料のみ)】

■ Aシステム1ノードの計算資源利用料を基準(= 1)とした場合のコスト倍率



並列化効率が高く、2ノード以上から並列割引が適用されるFシステムが総じて安価 (最低コストはF/10ノード)
理論値 (1000 iteration) では高並列でもコストは各システム1ノード実行時に比べ、±0かむしろ安くなる傾向

ケース2 (medium) 【コストパフォーマンス】

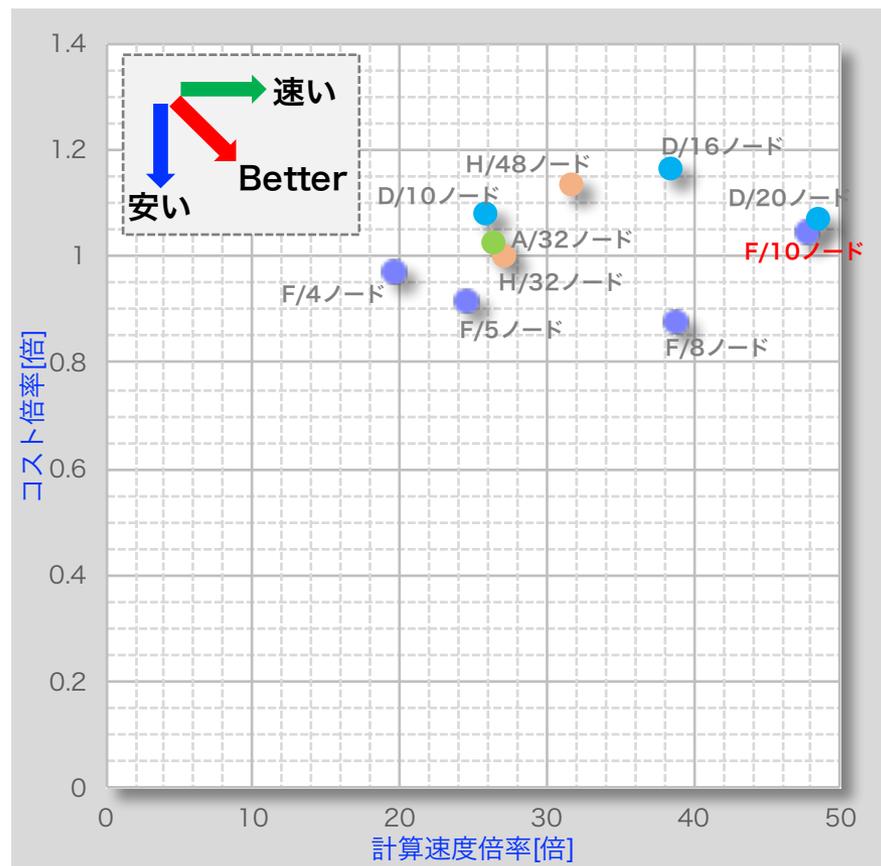
■ Aシステム1ノードを基準 (=1)とした場合のコストパフォーマンス

※理論値 (1000 iterationから算出)

| | システム名 | ノード数 | 計算速度倍率 | コスト倍率 | コストパフォーマンス指標 |
|----|-------|------|---------|--------|--------------|
| 1 | Fシステム | 10 | 47.8574 | 1.0454 | 45.7772 |
| 2 | Dシステム | 20 | 48.6882 | 1.0680 | 45.5874 |
| 3 | Fシステム | 8 | 38.7930 | 0.8764 | 44.2618 |
| 4 | Dシステム | 16 | 38.6861 | 1.1580 | 33.4066 |
| 5 | Hシステム | 48 | 31.9061 | 1.1283 | 28.2778 |
| 6 | Hシステム | 32 | 27.2399 | 0.9985 | 27.2798 |
| 7 | Fシステム | 5 | 24.5845 | 0.9152 | 26.8621 |
| 8 | Aシステム | 32 | 26.5867 | 1.0231 | 25.9872 |
| 9 | Dシステム | 10 | 26.0444 | 1.0751 | 24.2254 |
| 10 | Fシステム | 4 | 19.6311 | 0.9679 | 20.2831 |

Aシステム1ノードに比べ、
1.05倍のコストを払えば、
47倍の計算速度が得られる

| | | | | |
|-------|---|-------|-------|--------|
| Aシステム | 1 | 1.000 | 1.000 | 1.0000 |
|-------|---|-------|-------|--------|



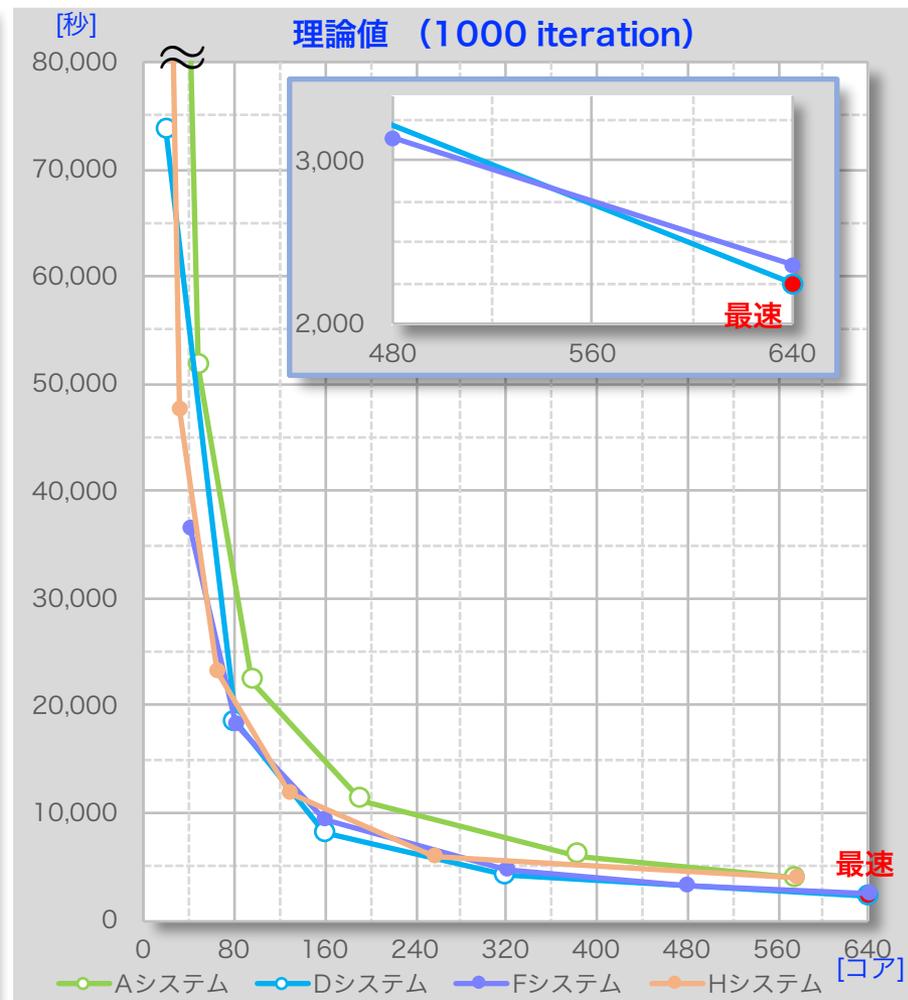
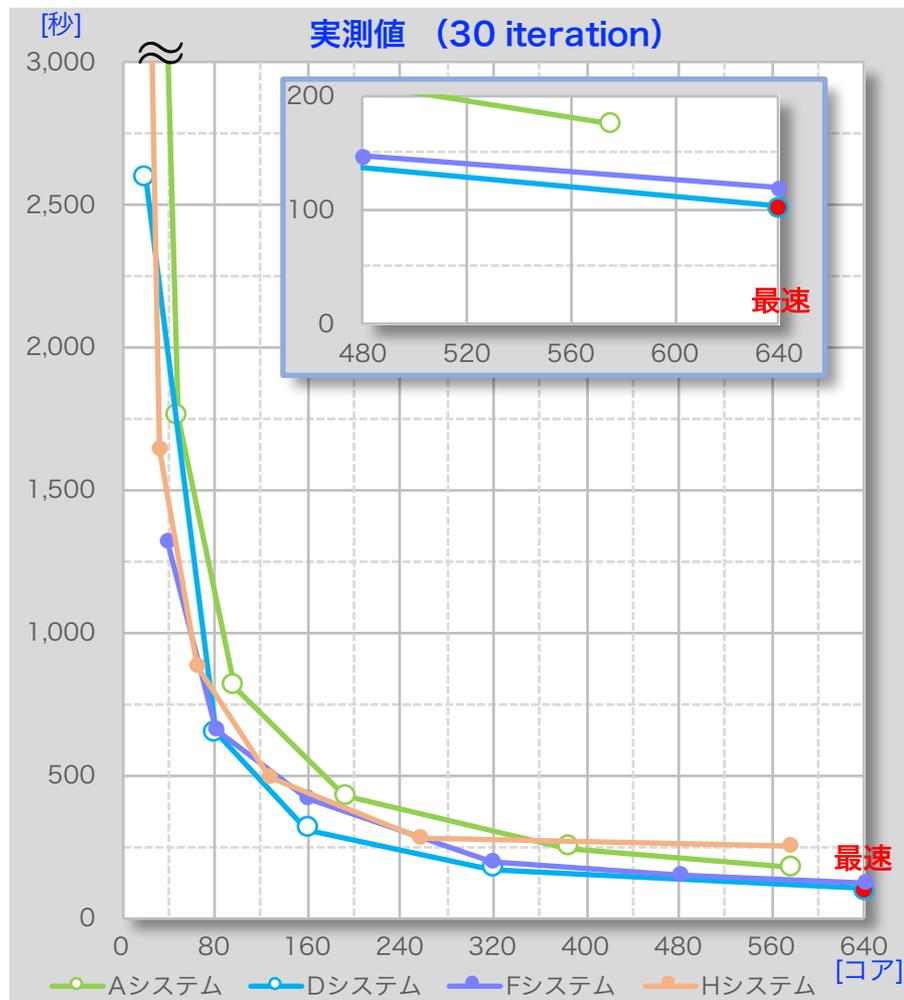
$$\text{コストパフォーマンス指標} = \frac{\text{計算速度倍率}}{\text{コスト倍率}} \quad (\text{higher is better})$$

ケース2 (medium) 【結果・まとめ】

- テスト実施ケース（～最大400コア）では概ね並列による高速化を確認
- 特に本ケース（Aerodynamicsの単一領域）では、高い並列化効率の結果が得られた
- 計算速度では、Aシステム・Hシステムに比して、Dシステム・Fシステムが高速
- コスト（計算資源利用料のみ）では、並列化効率の高さと並列割引制度により、低並列・高並列のコスト差はわずか。
 - ➡ コストパフォーマンスの観点から、高並列化による高速化を推奨

ケース3 (large) 【経過時間】 (/コア)

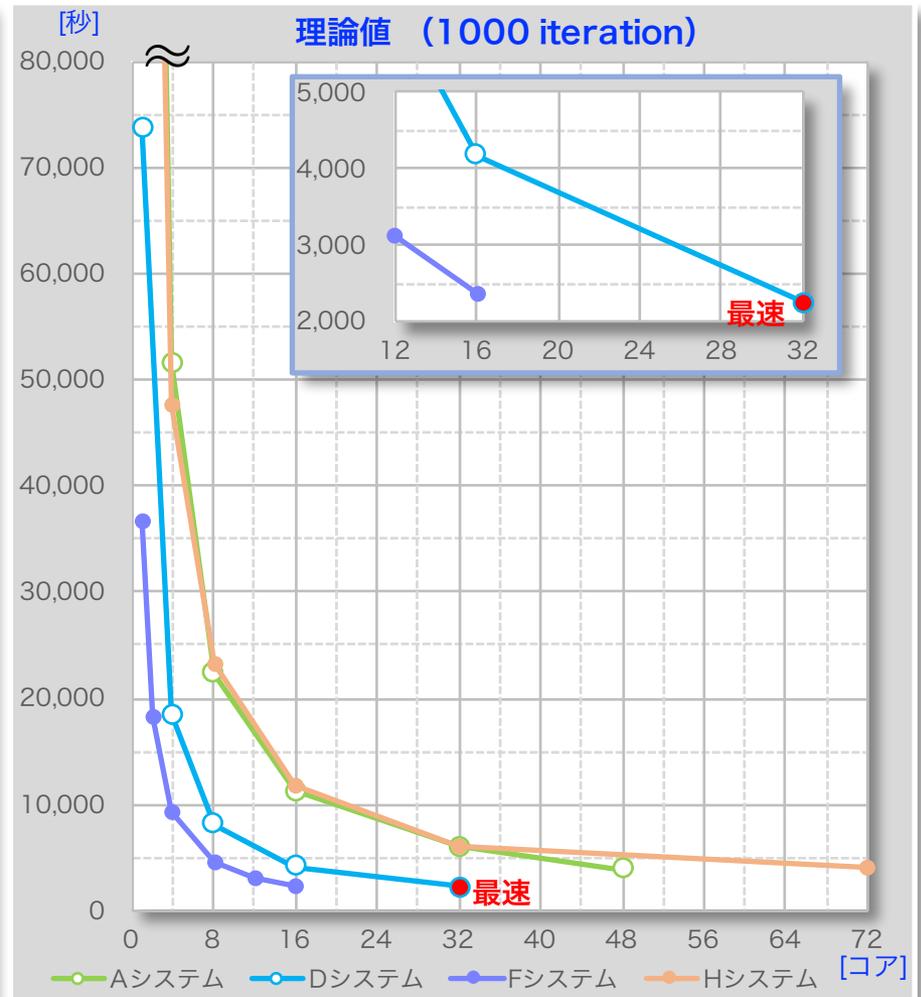
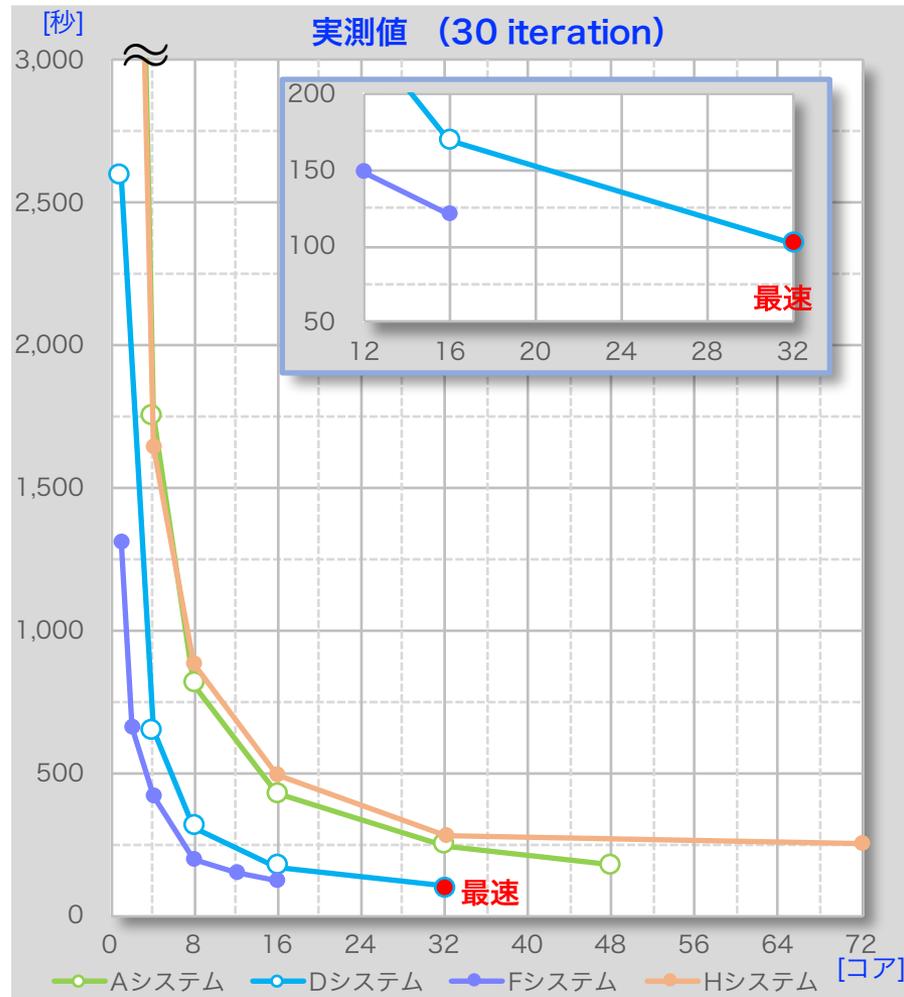
■ 使用コア数によるシステム別経過時間の推移



実測値 (30 iteration) 、理論値 (1000 iteration) ともDシステム640コアが最速
理論値 (1000iteration) では、Hシステムも256並列近辺まではD・Fシステムと同等の計算速度

ケース3 (large) 【経過時間】 (/ノード)

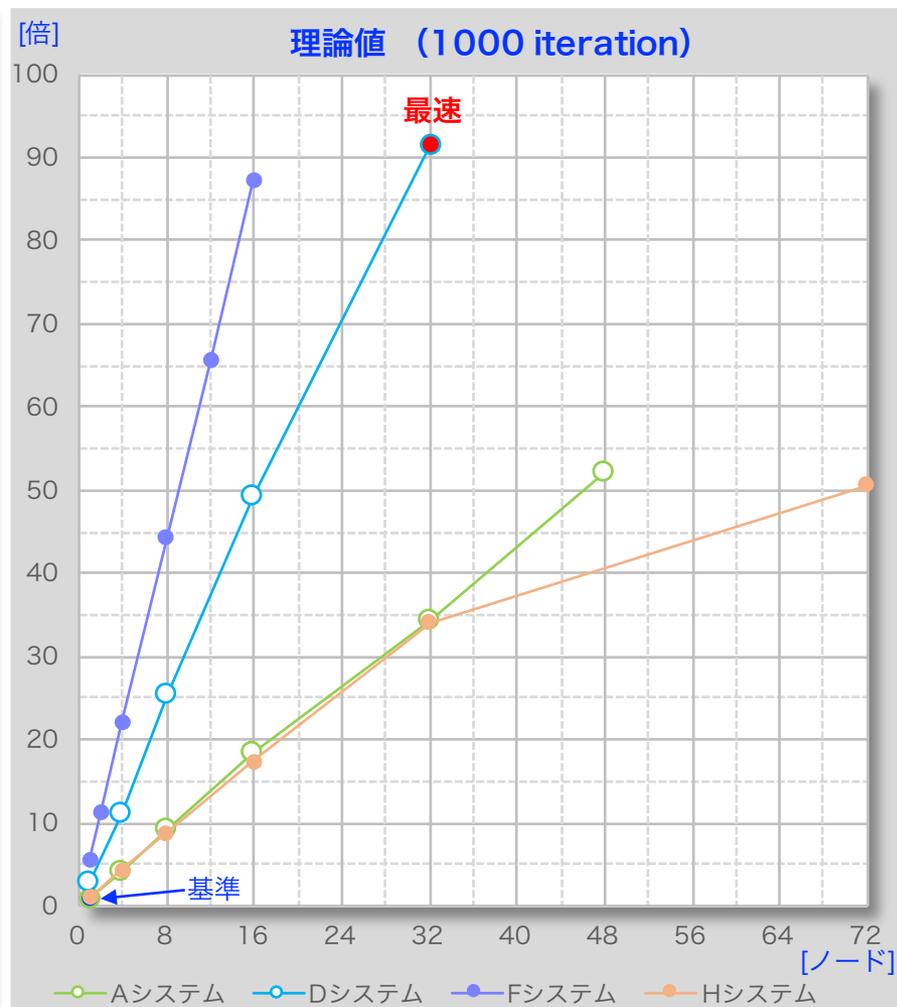
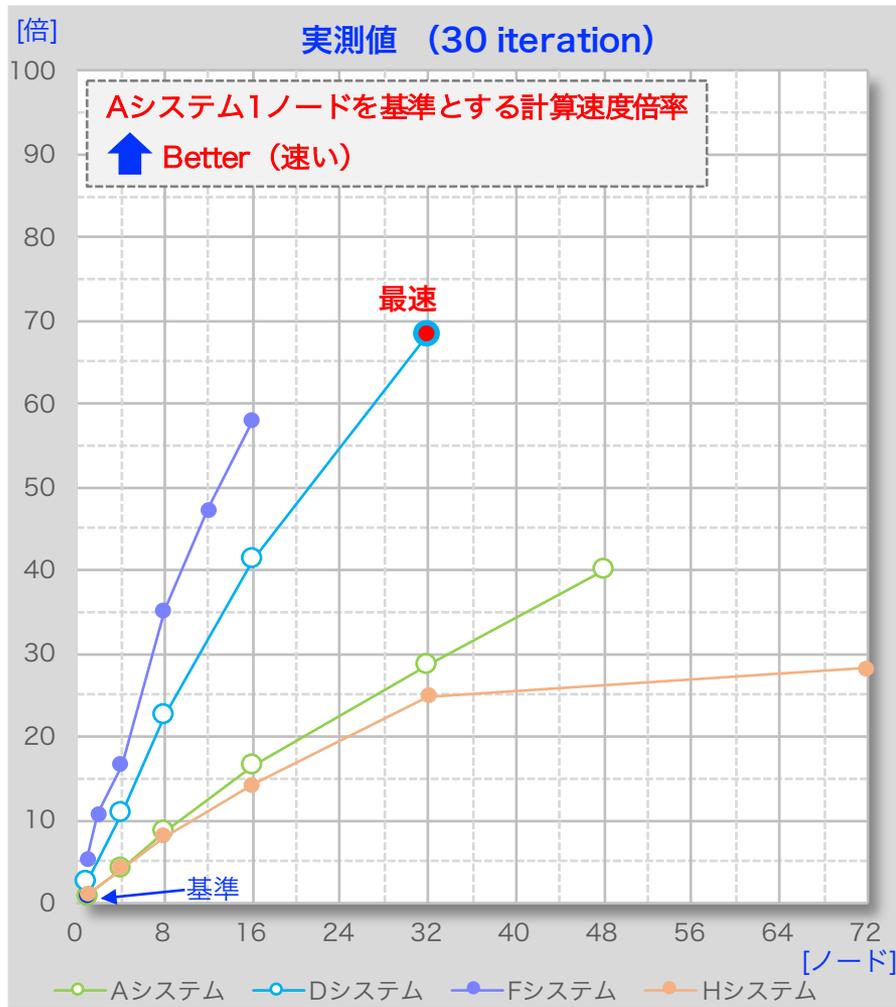
■ 使用ノード数によるシステム別経過時間の推移



使用ノード数 (同ノード数) での比較では、ノードあたりの理論演算性能が最も高いFシステムが高速
使用ノード数により若干の差異はあるものAシステム ≒ Hシステム

ケース3 (large) 【計算速度倍率】

■ Aシステム1ノードの経過時間を基準(=1)とした場合の計算速度倍率

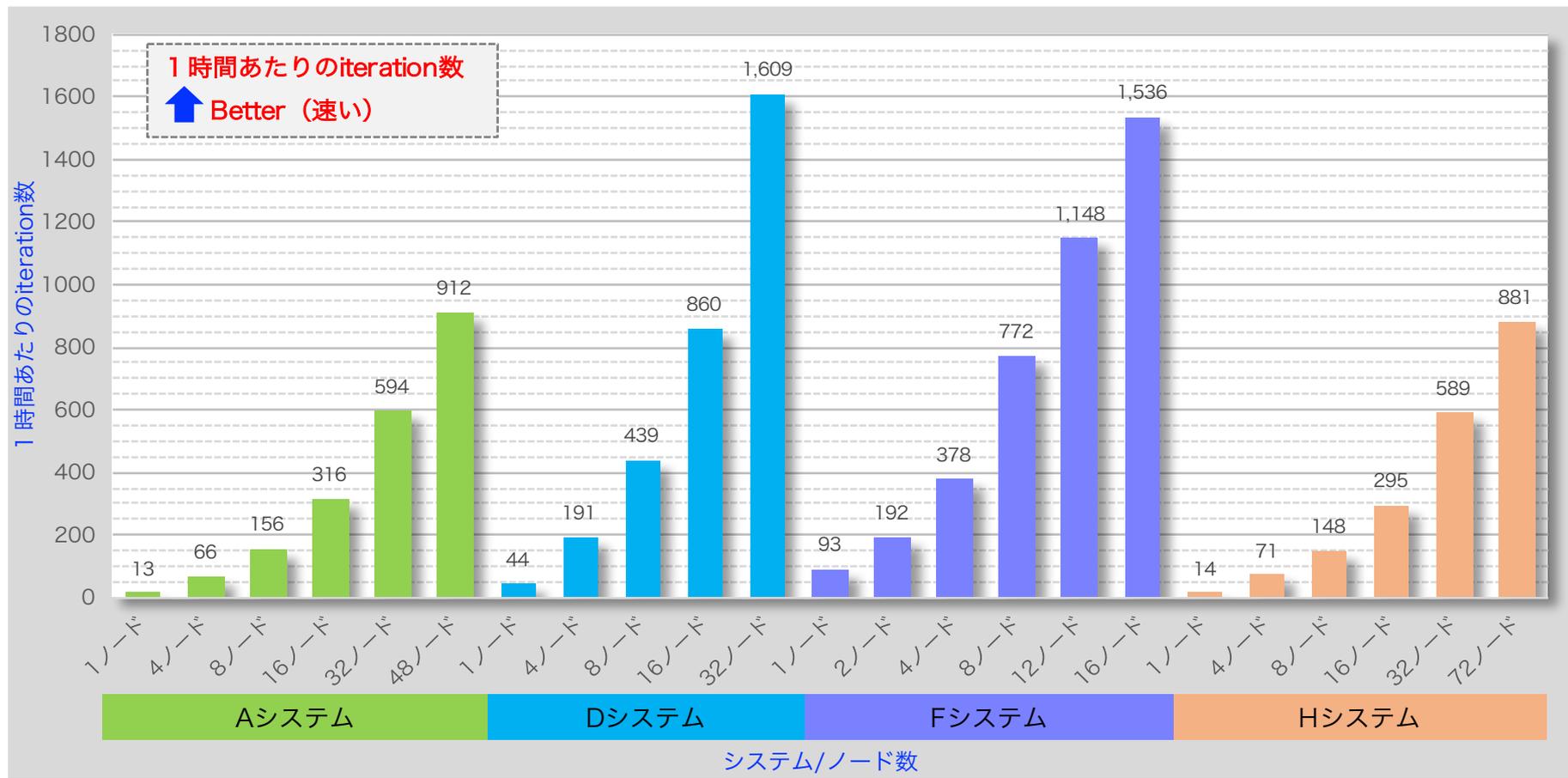


実測値 (30 iteration)、理論値 (1000 iteration) とともに最速はD/32ノード

A : H対比では、実測値 (30 iteration) は8ノードまで、理論値 (1000 iteration) では32ノードまでほぼイコール

ケース3 (large) 【1時間あたりのiteration数】

■ 1時間あたりのiteration数



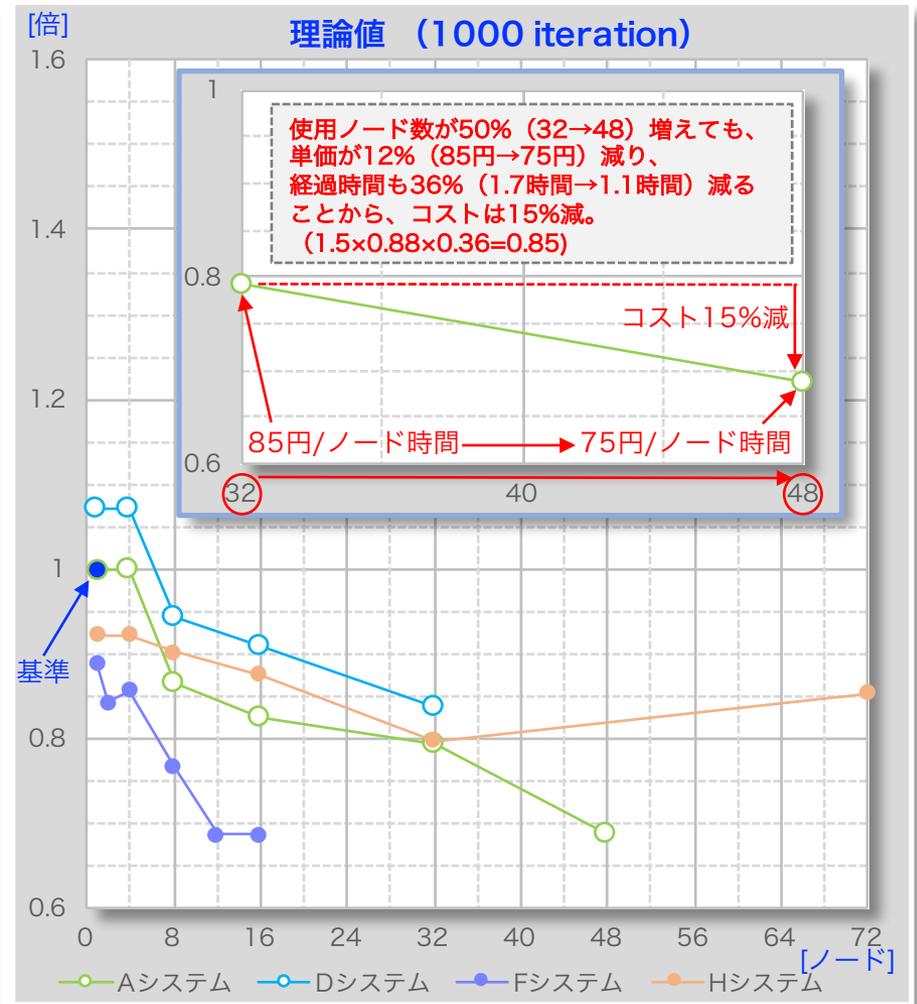
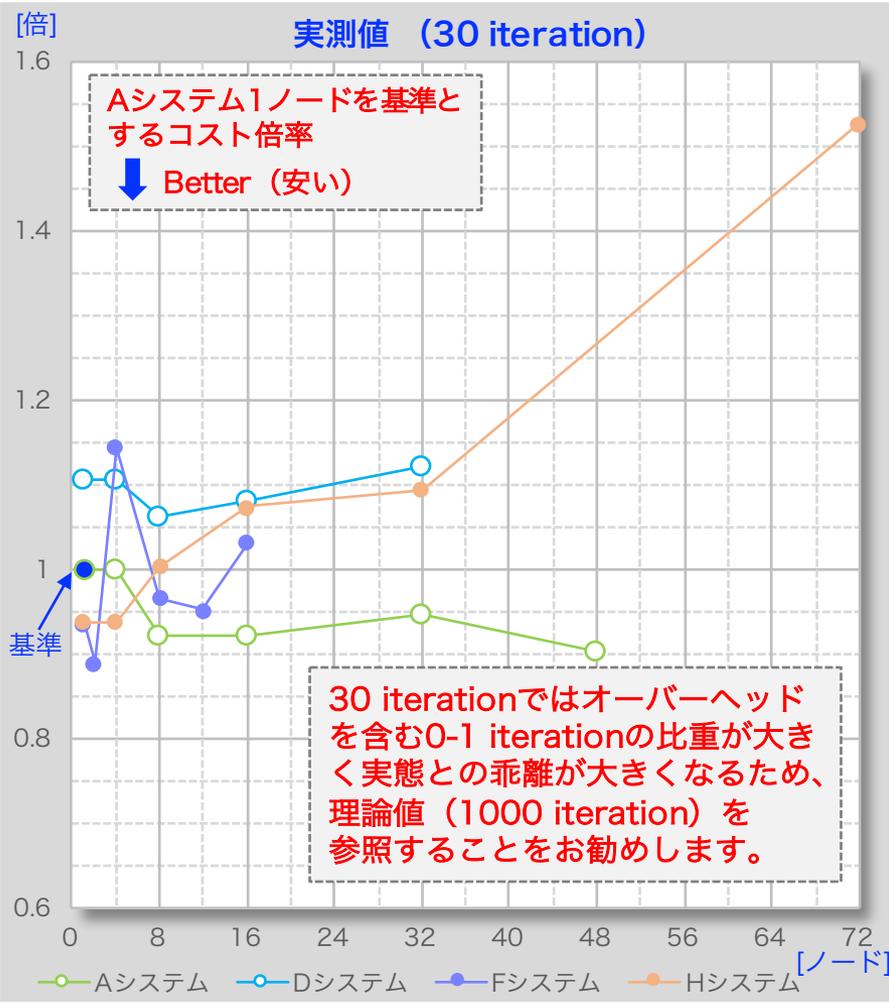
1時間あたりのiteration数（理論値）ではDシステム32ノードがベスト、次いでFシステム16ノード。

➡ Dシステム：Fシステム対比では、160コア（D/8ノード・F/4ノード）までは同コア数比較でほぼイコール。

Aシステム：Hシステム対比では、4ノード（A/48コア・H/32コア）まではHシステム、4ノード超はAシステムが優位。

ケース3 (large) 【コスト (計算資源利用料のみ)】

■ Aシステム1ノードの計算資源利用料を基準(= 1)とした場合のコスト倍率



並列化効率が高く2ノード以上から並列割引が適用されるFシステムが総じて安価 (最低コストはF/12ノード)
並列割引料率の変化点と並列化効率によりコストが変化 (Aシステム32→48ノード例: グラフ枠内参照)

ケース3 (large) 【コストパフォーマンス】

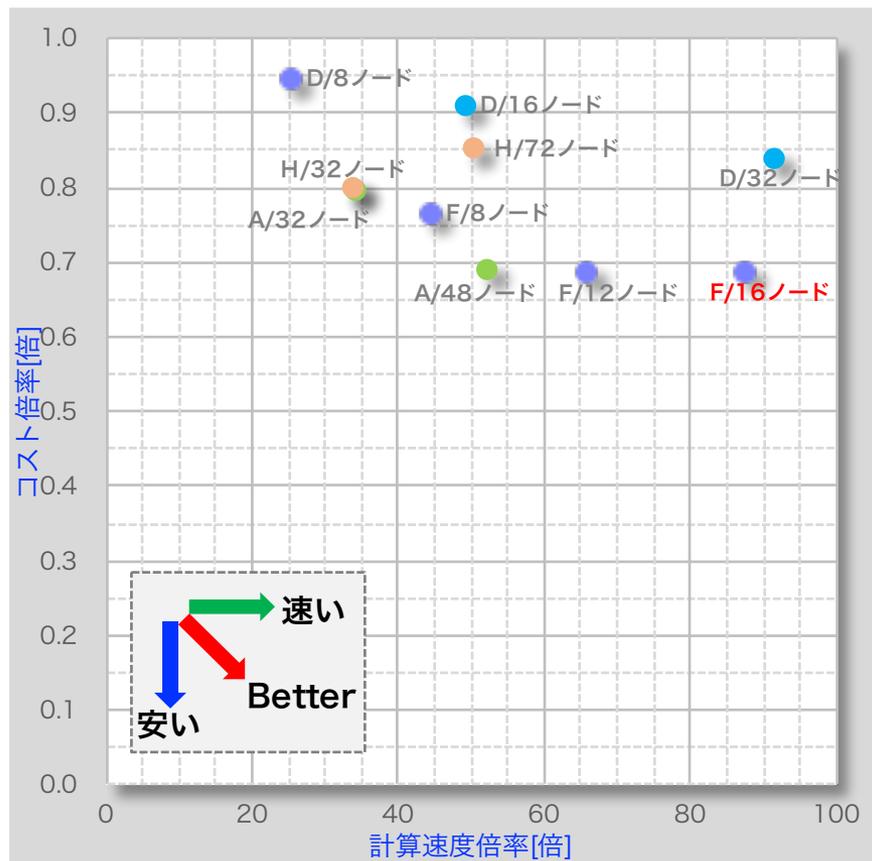
■ Aシステム1ノードを基準 (=1)とした場合のコストパフォーマンス

※理論値 (1000 iterationから算出)

| | システム名 | ノード数 | 計算速度倍率 | コスト倍率 | コストパフォーマンス指標 |
|----|-------|------|---------|--------|--------------|
| 1 | Fシステム | 16 | 87.3015 | 0.6873 | 127.0257 |
| 2 | Dシステム | 32 | 91.6065 | 0.8384 | 109.2675 |
| 3 | Fシステム | 12 | 65.5747 | 0.6862 | 95.5564 |
| 4 | Aシステム | 48 | 52.2815 | 0.6886 | 75.9264 |
| 5 | Hシステム | 72 | 50.6467 | 0.8530 | 59.3771 |
| 6 | Fシステム | 8 | 44.3841 | 0.7660 | 57.9395 |
| 7 | Dシステム | 16 | 49.3231 | 0.9083 | 54.3029 |
| 8 | Aシステム | 32 | 34.2704 | 0.7937 | 43.1788 |
| 9 | Hシステム | 32 | 34.1232 | 0.7971 | 42.8085 |
| 10 | Dシステム | 8 | 25.4283 | 0.9438 | 26.9415 |

Aシステム1ノードに比べ、
約2/3のコストで、
87倍の計算速度が得られる

| | | | | |
|-------|---|-------|-------|--------|
| Aシステム | 1 | 1.000 | 1.000 | 1.0000 |
|-------|---|-------|-------|--------|



$$\text{コストパフォーマンス指標} = \frac{\text{計算速度倍率}}{\text{コスト倍率}} \quad (\text{higher is better})$$

ケース3 (large) 【結果・まとめ】

- テスト実施ケース（～最大640コア）では概ね並列による高速化を確認
- ケース2（medium）と同様にAerodynamicsの単一領域では、高い並列化効率の結果が得られた
- 計算速度では、Aシステム・Hシステムに比して、Dシステム・Fシステムが高速
- コスト（計算資源利用料のみ）では、Fシステムが安価になる傾向
- コストパフォーマンスの観点からは、Dシステム・Fシステムに優位性があるものの、Aシステム・Hシステムも並列割引料率の高さから差異はごくわずか

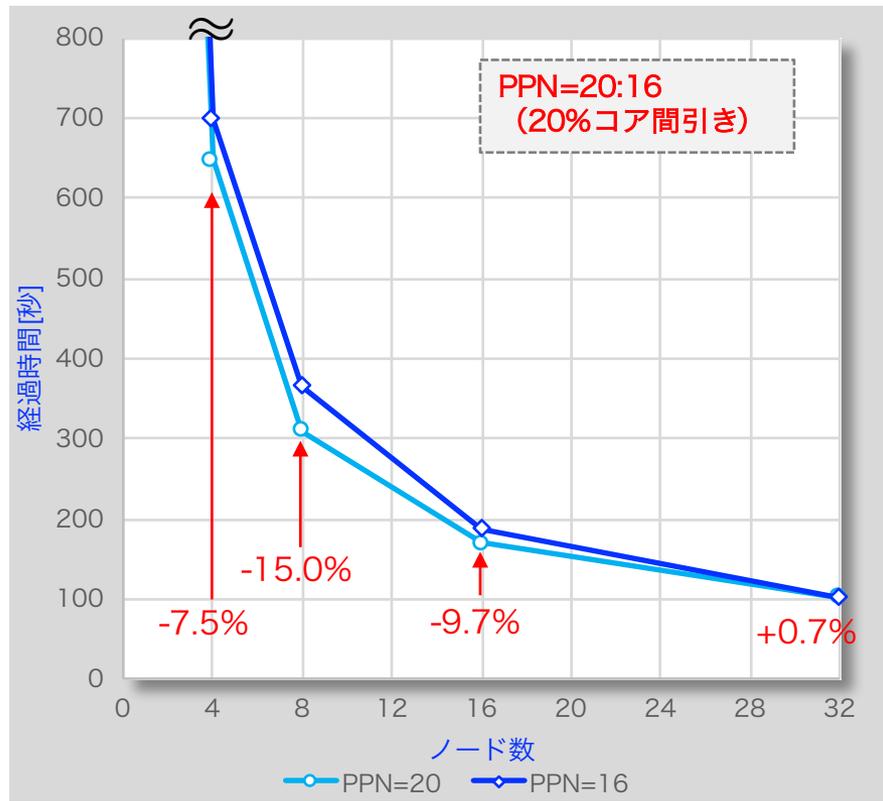
まとめ

- テスト実施ケースでは概ね並列による高速化の結果
 - ➡ small:~220コア、medium:~400コア、large:~640コア程度までスケール
- 計算速度の面では、総じてDシステム・Fシステムが優位
 - ➡ D:Fは同コア数（ノード数 D:F=2:1）でほぼイコール
 - A:Hは同ノード数（コア数 A:H=12:8）でほぼイコール
 - ※Hシステムは、高並列実行時は極端に遅延を生じるケースもあり、**多ノード使用によるノード間通信が多い場合は留意が必要**
- コストパフォーマンスの面では、高並列での実行を推奨
 - 最低コストは各ケースにより異なるが、コストパフォーマンスは高並列実行に優位性
 - FOCUSスパコンの「並列割引制度」をうまく利用すれば、コストパフォーマンスが向上
 - STAR-CCM+のPoD (Power on Demand) ライセンスの時間消費分をコスト換算に加えれば、さらに高並列利用に優位性

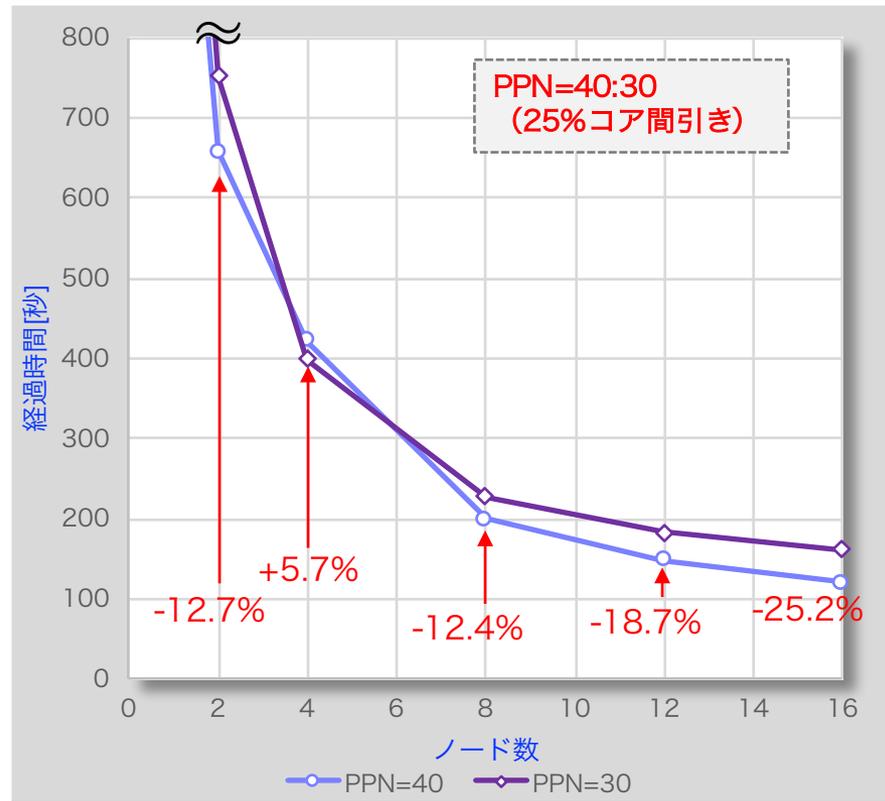
【参考】使用コア数調整による最適化検証

ケース3 (Large) を使用し、ノードあたりフルコア使用の場合とコア数を間引きした場合の計算速度の比較検証をDシステム、Fシステムにて実施した。

Dシステム



Fシステム



概ね1ノードあたりフルコアを使用したケースの方が、コアを間引いたケースよりも高速
ただし、コア間引き率 (D : 20%、F : 25%) ほどの速度低下は見られず

➡ メモリバンド幅がネックとなり遅延する場合はコア間引きも有効だが、本ケースではフルコア使用の方が概ね高速

謝辞

本ベンチマークテストの実施にあたっては、シーメンスPLMソフトウェア・コンピューティショナル・ダイナミックス株式会社様にモデルをご提供いただき、また実行作業にも多大なるご協力をいただきました。

ここに深く感謝の意を表します。

公益財団法人 計算科学振興財団