株式会社アドバンストテクノロジー, http://www.ad-tech.co.jp
東京都品川区東五反田 1-8-13 五反田増島ビル３階
TEL: 03-5475-1540 , email: sales@ad-tech.co.jp

AMPS

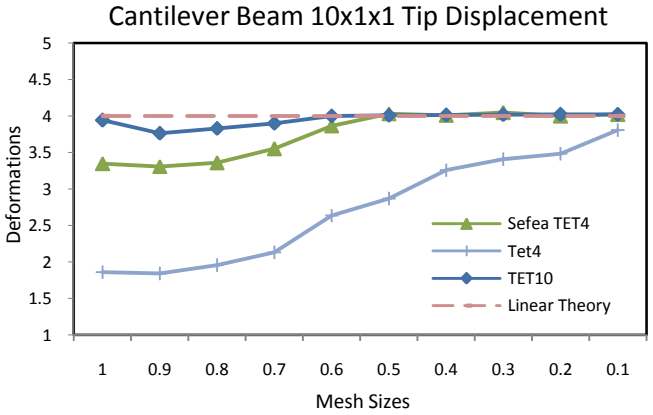
Sefea™：ひずみエンリッチ法による有限要素解析
新世代ＦＥＡ（有限要素解析）の特長とベンチマーク検証
ダイジェスト版

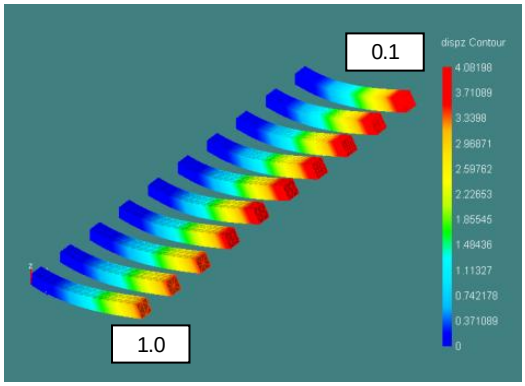
主な特長

- Sefea ™ はエンリッチ法アルゴリズムを導入した最新の有限要素法解析システムです。
- Sefea ™ は4節点テトラ1次要素（Sefea TET4）、3節点3角形1次要素（Sefea TRI3）などのSefea 1次要素を今日のオートメッシュ環境に合わせて開発。１次要素でありながら2次要素に遜色ない解析精度を実現しています。2次要素並の計算精度を保ちながらも、中間節点挙動に煩わされず、1次要素の汎用性、計算コストを両立しています。このため、メッシュ細分化による指数関数的な計算時間の増大を招くことなく計算実行でき、より多くの実際的な問題（異種材料や非線形解析など）の解析に対応しています。
- Sefea ™ は数値計算上の技術により、ひずみや勾配計算の精度、安定性を高めています。これにより、数値解の不連続性が顕著に現れる接触、衝撃、非線形ひずみの解析や、最新の自動メッシュ分割で共通するメッシュの粗密の変化や要素形状のゆがみに対しても解析精度の安定を実現しています。
- Sefea ™ のマルチフィジクスの各物理場の定式化に統一的に導入されたエンリッチ関数のアルゴリズムは、応力/熱/流体/電磁場の各定式化の完全な連成を実現しています。

Sefea TET4 3次元要素線形弾性解析ベンチマーク

メッシュサイズを0.1から1まで変えた10ケースの片持ち梁のたわみのベンチマークでSefeaの収束性を評価。

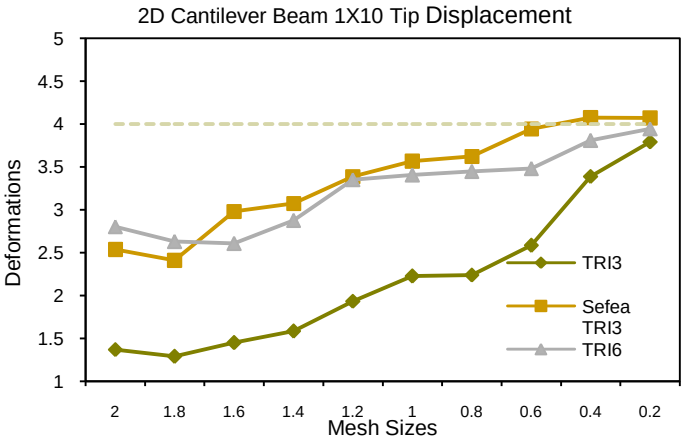


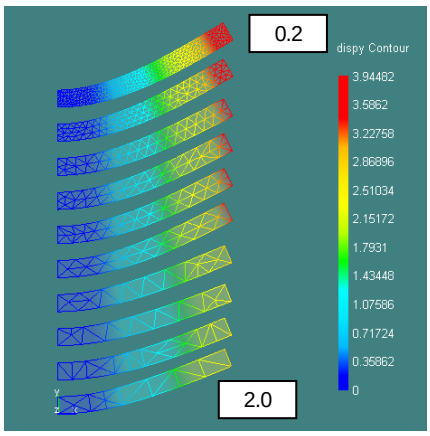


上の図表に示すようにSefea TET4要素▲は、梁の断面寸法の約半分の要素サイズで、急速に理論値に収束。

Sefea TRI 3 2次元要素線形弾性解析ベンチマーク

2次元平面応力で同様な片持ち梁にメッシュサイズを0.2から2まで変えた10ケースのベンチマークを実施しました。

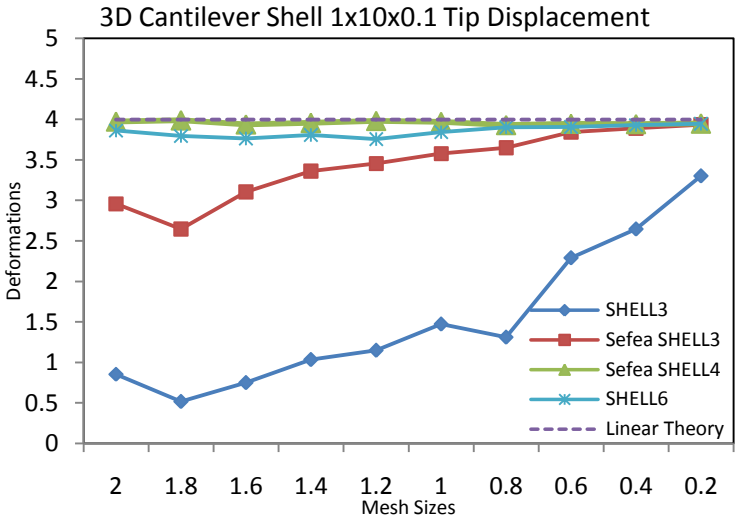


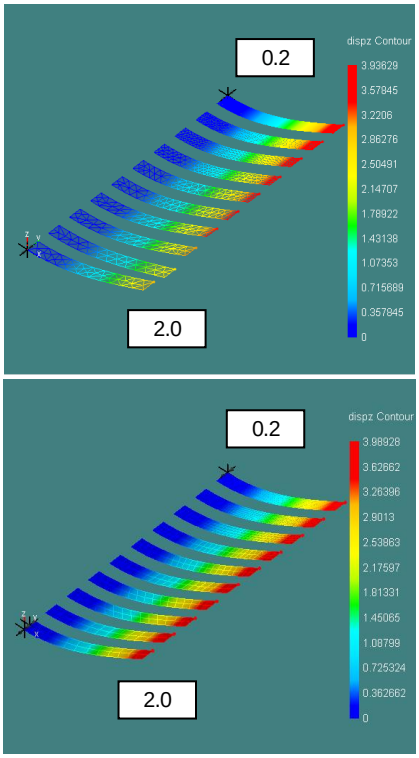


上の図表に示すようにSefea TRI3要素■は、2次のTRI6要素▲を凌ぐ精度を示しています。

Sefea Shell3,Shell4シェル要素線形弾性解析ベンチマーク

3次元のシェル要素Shell3,Shell4で同様な片持ち梁でメッシュサイズが0. 2から2まで10ケースのベンチマークを実施。

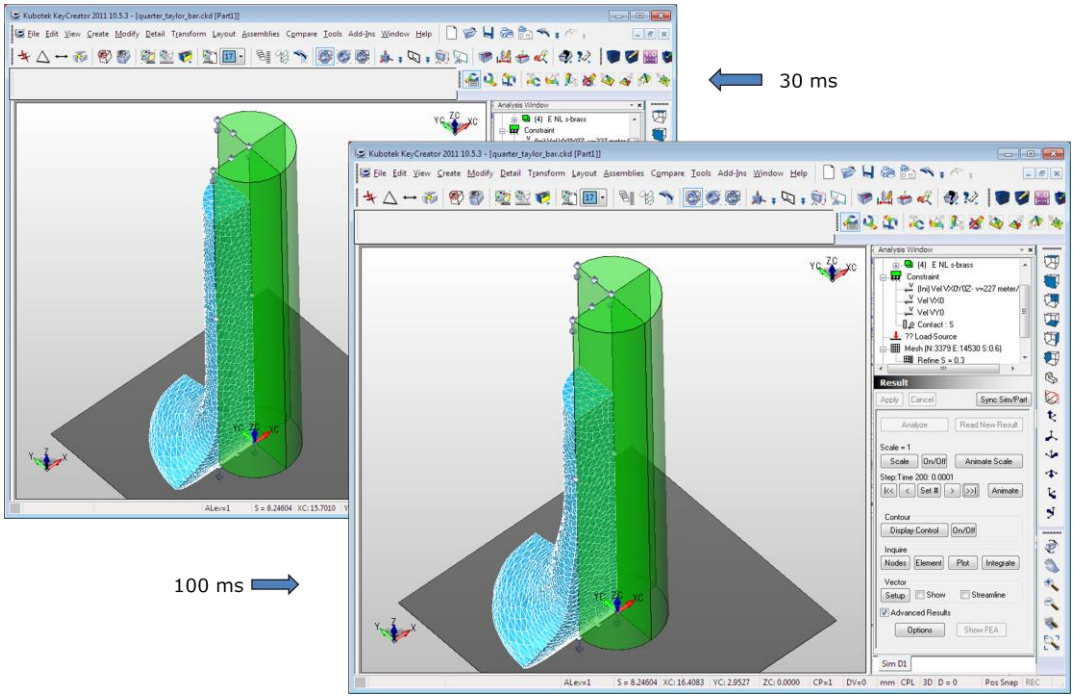




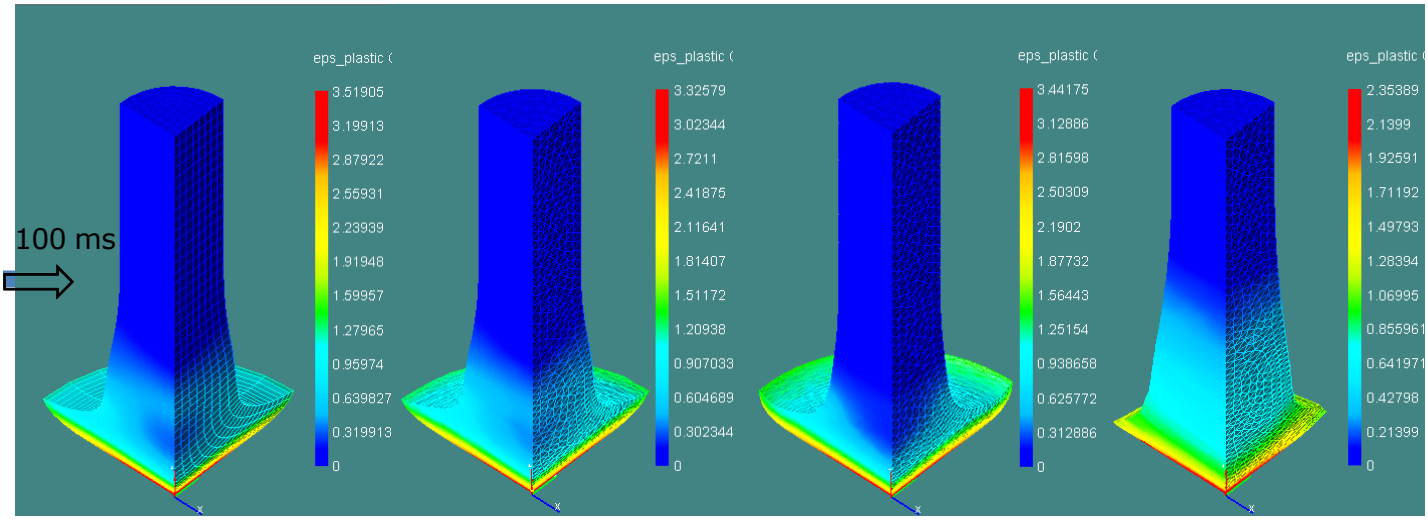
Sefea SHELL3要素■はSHELL3要素◆よりずっと良好な結果を示し、
Sefea SHELL4要素▲は2次のSHELL6要素＊よりも良い結果を示します。

Sefea TET4 弾塑性衝撃大変形解析ベンチマーク

初期半径3.2mmで長さ32.4mmの丸棒を軸方向に初速度227m/secで摩擦のない剛体壁にぶつけるベンチマーク。
（テイラー・バーによるベンチマーク）



B - Bar Hex8　　Sefea TET4　　TET10　　TET4

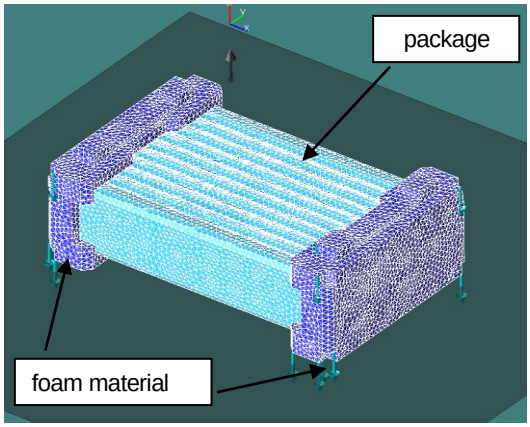


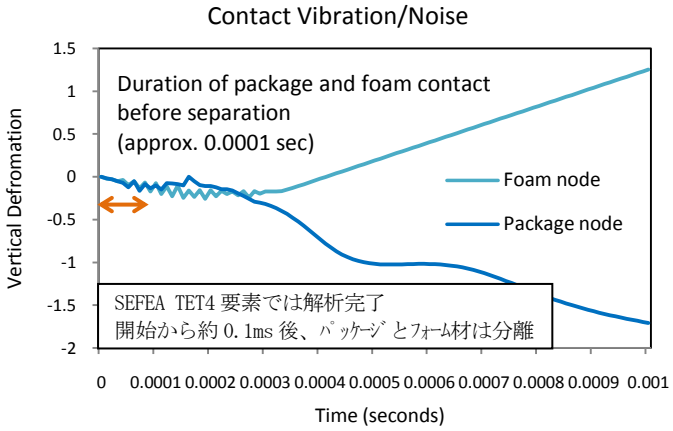
Types	Total Elements	Total Nodes	Iterative /direct solver Time (sec)	Peak plastic strain (30 ms)	Peak plastic strain (100ms)	Rod deformation (mm)	Final head radius (mm)
Hex8	2400	3112	476 / 523	2.620	3.519	10.24	7.83
Sefea TET4	14544	3359	550 / 693	2.540	3.325	10.20	7.89
Tet10	14544	22778	1217 / 2158	1.979	3.444	9.72	7.99
Tet4	14544	3359	479 / 583	2.180	2.354	10.50	5.69

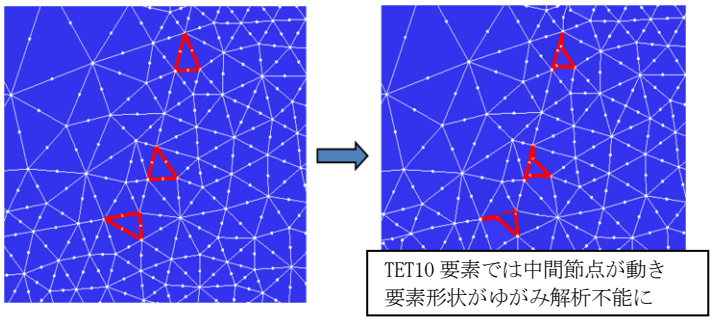
Sefea TET4要素は、HEX8要素と良く似た変形挙動、塑性ひずみ分布を示します。TET10要素は、ほぼ同じ変形挙動ですが、やや異なる塑性ひずみ分布を示し、Sefea TET4要素の3倍程度の計算時間を要しています(100ms)。

パッケージ落下衝撃解析における**Sefea** TET4要素/TET10要素

フォーム材で両端を固定したパッケージを0.6m落下させ摩擦のない剛体の地面に衝突させるベンチマーク。パッケージとフォーム材にはそれぞれ約2700 m/secおよび1200 m/secの衝撃波が発生。2次要素であるTET10要素を用いた解析では、最初の衝撃時に要素に異常が発生し、解析は異常終了してしまいます。Sefea TET4要素では解析を正常に完了することができ、パッケージとフォーム材の境界面に大きな振動が起こるという結果が得られました。一般的に、Sefea TET4要素を用いた動解析は、ずっと大きなインパクトスピードを許容でき、より現実的な問題を扱うことができます。



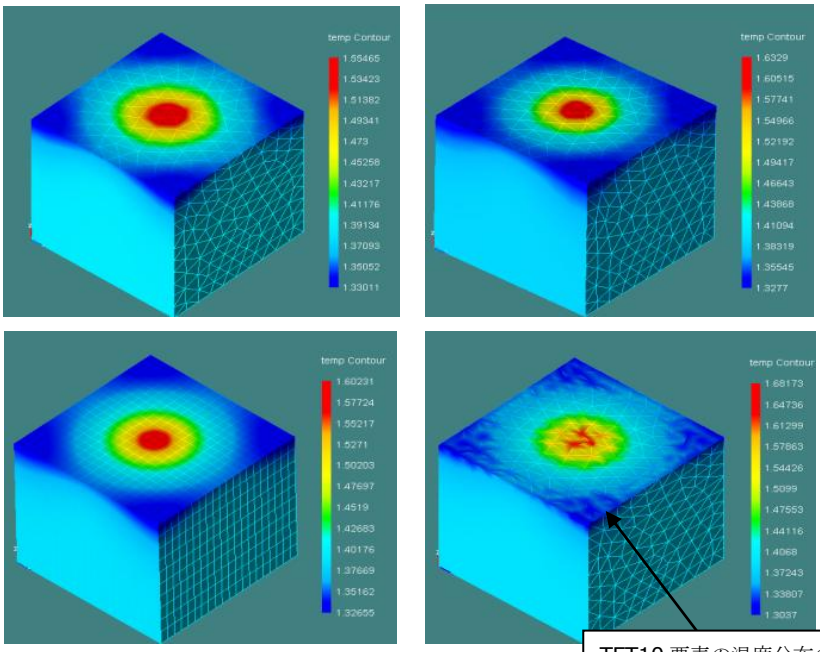


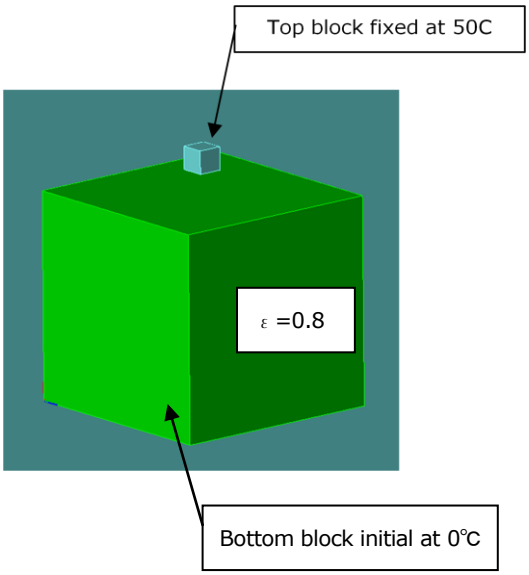


TET10 element faces on contact surface before impact (left)
and the side-node noise distortion failure at first impact (right)

Sefea TET4要素による熱輻射解析ベンチマーク

2つのブロック間の輻射伝熱のベンチマークでSefea TET4要素を検証。50℃に保たれた1x1x1のブロックによる、少し離れた初期温度0℃の 9x9x9のブロックの平衡状態の温度分布のベンチマーク。（放射率はすべて0.8）
Sefea TET4要素は、要素数にして2倍細かいHEX8要素にも比較できる精度を有します。2次のTET10要素は、全体的な分布は変わらないが、コーナー節点と中間節点の値のわずかな挙動の違いにより温度分布に波状の振動パターンが生じます。



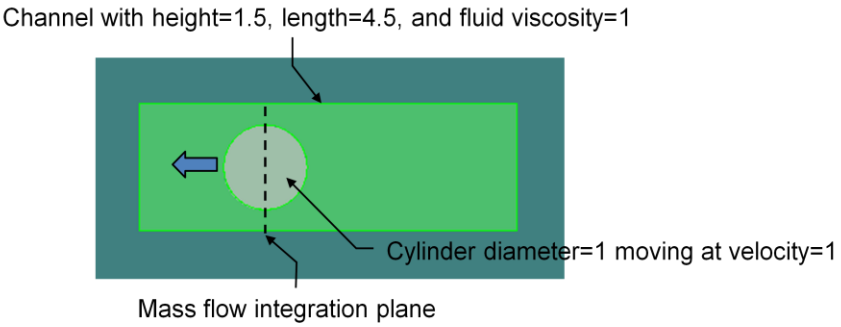


TET10 要素の温度分布の波状振動パターン

Thermal radiation temperature result
TET4, Sefea TET4, (top from left to right)
HEX8, and TET10 (bottom from left to right)

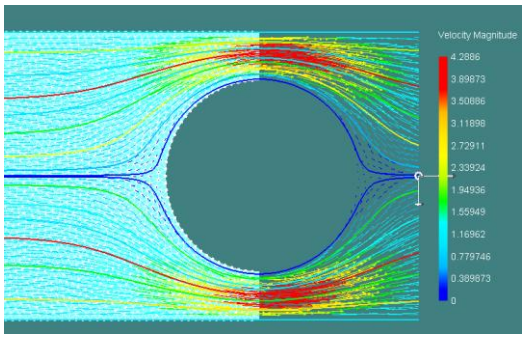
Sefea TRI 3,TET4要素による流体解析ベンチマーク

狭い流路を動くシリンダーの問題は
CFD(Computational Fluid Dynamics)の分野でポピュラーなベンチマークです。
QUAD4やTRI 3要素はずっと低い流速を示し、高い誤差を含みますが、Sefea QUAD4、



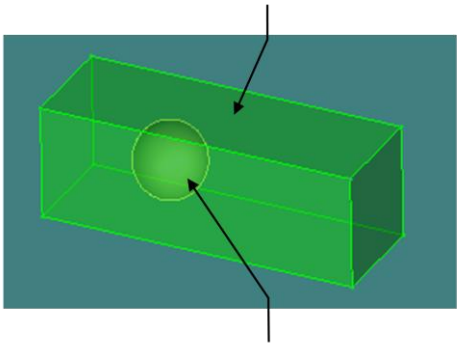
Sefea TRI 3要素では、スタンダード2次のQUAD9要素やTRI 6要素に対し、全く遜色ない結果が得られています。

Element Type	Total Elements	Total Nodes	Mass Conservation error (percentage)
QUAD4	3978	4180	21.57
QUAD9	3978	16316	0.47
Sefea QUAD4	3978	4180	0.02
TRI3	10028	5216	36.31
TRI6	10028	20460	0.38
Sefea TRI3	10028	5216	0.32

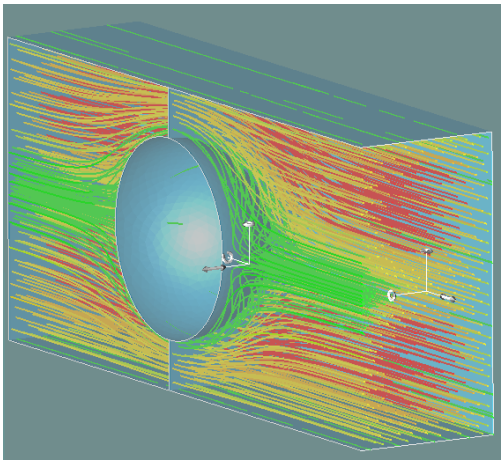


このベンチマークの3次元版でも、2次元版同様の比較ができます。
TET4要素は極めて高い誤差を有しますが、Sefea TET4要素はTET6要素の約1/5の計算時間で、TET6要素をわずかに上回る解析精度を示しています。

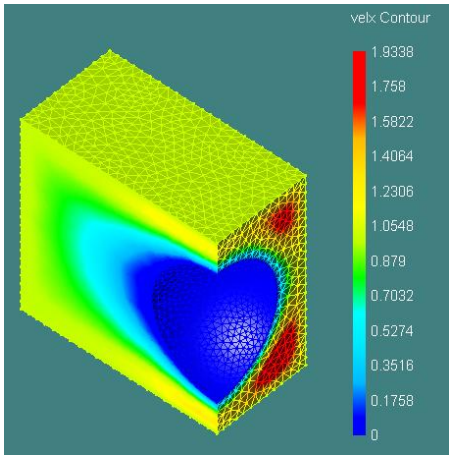
Square channel with height=1.5, length=4.5, and fluid viscosity=1

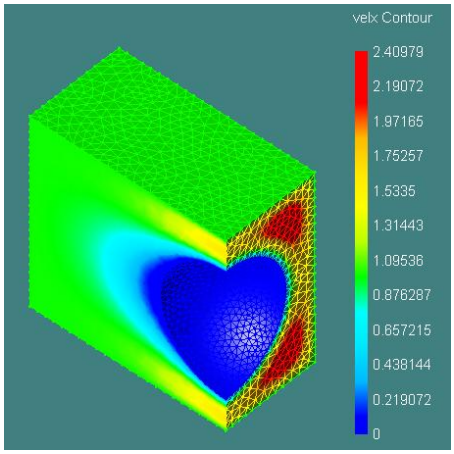


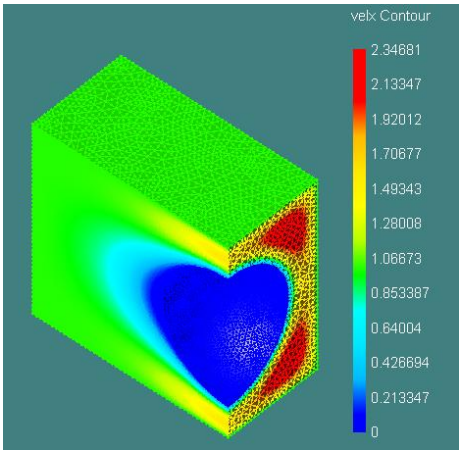
Sphere diameter=1 moving at velocity=1



Element Type	Total Elements	Total Nodes	Total Equations	Run Time (sec) Iter/Direct solver	Mass Conservation Error (percentage)
TET4	132883	27116	189812	17 / 85	34.87
TET10	132883	194293	1360051	328 / 5412*	2.36
Sefea TET4	132883	27116	189812	59 / 475	1.11







Velocity profile for TET4, Sefea TET4 and TET10 elements (from left to right) along the channel