

知能機械システム工学科 卒業論文

発電機の構造と磁場解析

1010125 内野喬誌

目次

第1章	序論	2
1.1	総括	2
1.2	緒言	2
1.3	風車の形式 1)	3
1.4	発電機のメカニズム	3
1.5	問題点および目標	5
第2章	実験内容	6
2.1	実験目的	6
2.1	実験装置と実験方法	6
第3章	解析内容	8
3.1	解析目的	8
3.2	解析条件	8
3.3	解析手順	9
3.4	物性条件	9
3.5	境界条件および磁化の値	9
第4章	実験結果および解析結果	10
4.1	実験結果と解析結果の比較	10
4.2	解析結果及び考察	10
4.3	解析結果グラフについて	16
第5章	結論およびまとめ	18
	今後の課題	18
	謝辞	18
	学会発表	18
	参考文献	19
	解析結果 - ベクトル図	20
	解析結果 - コンター図	48
付録	1	76
付録	2	79
付録	3	85

第1章 序論

1.1総括

永久磁石発電機的设计のために磁石配置に関する実験及び解析を行い、以下のことが明らかになった。

解析結果は実測値と数値および傾向が一致することが分かり、磁石の最適は配置の検討に利用できる。

対向する磁石間隔 L は小さいほうが、ギャップ間磁束密度が高く良い。

ある一つの磁石幅(10mm)で固定し、隣り合う磁石との間隔を変えて磁石の最適配置を考慮する場合、隣り合う磁石との間隔を磁石の幅と同程度あげれば無効な漏れ磁束を減少させることが出来る。しかし、それ以上空けても効果はあがらない。

磁石幅が 20mm 以上の場合について、隣り合う磁石との間隔を変えて磁石の最適配置を考慮すると、隣り合う磁石との間隔を磁石の幅のおよそ 20% 以上空けると、無効な漏れ磁束を減少させる効果はあがらない。

有効な発電量には、磁石の数、磁石間の磁束密度、磁石配置の外径に影響される

1.2緒言

近年、環境問題などの面からクリーンエネルギーに注目が集まっており、風力発電も太陽光発電などと並んで建設および設置が進められている。近年大型のもののみならず、小型で個人でも設置が可能な永久磁石を用いた小型風力発電機の開発も進められており、数多く市販されている。しかしそれらの多くは外国製の風力発電機であり、日本の気候には完全に合致しない点もある。そこで、市販されている発電機を分解して比較検討を行ってきたが、

- 磁石数
- コイル数
- コイル結線方法
- 磁石数とコイル数の比の影響
- 磁石とコイルの位置関係
- 発電機の磁束密度に及ぼすコア有り無し

などの点について、統一された設計思想は見受けられず、まさに多種多様である。

そこで、日本のような風況に合致する、すなわち低風速域からでも発電可能で効率の良い発電機を得るため、最適な磁場分布を有限要素法の磁場解析によって求める基礎研究を開始した。

本研究室では、対向に配置した磁石間にコアレスコイルを通過させる風力発電機を試作した。そこで、これをモデルに実験と解析との比較により、磁束密度が最大となる最適な配置を導き出すこととした。

1.3風車の形式¹⁾

日本においてよく見かけられるのがプロペラ型の風車である(図1)

この形式の風力発電機は一般に高回転型で、風向きが安定し且つ風が強く一定で吹いている場所には適していると言える。しかしながら、風向や風速が目まぐるしく変化する場所においてはその変化に追従しきれず、プロペラは回っているにも関わらずほとんど発電できていないという状態に陥る。この現象については、当研究室の伊藤淳氏らが土佐山田町甫喜ヶ峰で実施したフィールド実験の結果からも言えることである。

一方で、サボニウス型と呼ばれる風車がある。(図2)この風車には風向に關係なく回転する、高速回転には不向きであるが高トルクが得られるという特徴がある。

(図3)は、平成13年春に南国市の道の駅に設置予定の風力発電機である。これもサボニウスを用いて低風速域での発電効率向上を狙っている。なお、設計開発および製作については高知県内企業数社と高知高専、高知工科大学が共同で行ったものである。

1.4発電機のメカニズム



図1 プロペラ型

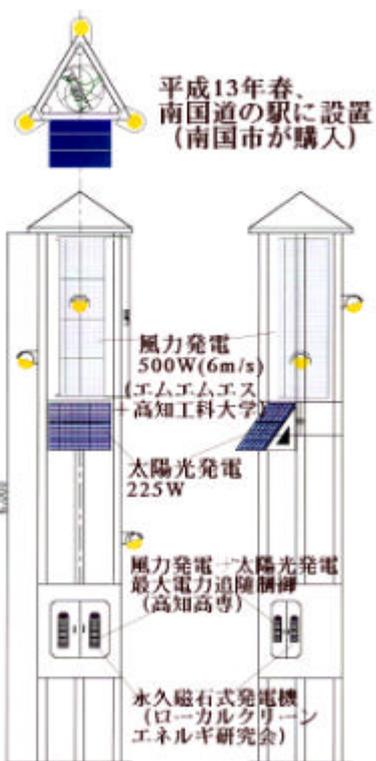


図3 サボニウス型

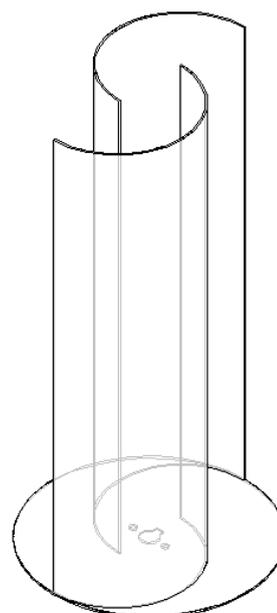


図2 サボニウス型

発電機は、コイルの巻かれた空間部分に有効な向きの(コイルに対して垂直な)磁束を多く入れるか、さらにその磁束の時間的な変化量を大きくすること、大きな磁力を用いることが性能を決める一つの大きな要因となる。

(図4)に示したのはアメリカ製の風力発電機 Air403 の内部構造である。内側に磁石のローター(写真右側)、外側には鉄心(ヨーク(緑色の部分))とそれを巻いているコイル(写真左側)がある。

また、(図5)に示すのは新日本技研製 1kW 風力発電機で、コア付コイルの外側を磁石を取り付けたローターが回転するといった Air403 とは逆転したような構造である。

このような鉄心のある方式は、静磁場の領域で考えると比透磁率が高い鉄心が存在することにより、コイルの巻かれた空間部分を貫通する磁束が多くなると考える。

しかし一方で、実際に回転させるとその回転する磁石により、鉄心(電磁鋼板)部分に出来る渦電流の影響で、磁束がコイルに対して垂直に入る、すなわち有効な磁束が得られにくく回転方向に流れてしまい、結果としてコイルを貫通する磁束が減少する現象が起こる可能性がある。また、磁石が鉄心と引き合う力によって発生するコギングトルクの問題により、低回転域での性能向上を目的に希土類磁石など強力な磁石に変更することが困難であると考えられる。

我々が磁石対向型と呼んでいる発電機の内部構造を(図6)に示す。磁石を鉄製のバックヨークに接着し、それをさらにハウジングと固定する。対向する磁石の間にコイルがあり、磁石と一体となったハウジングがローター、コイルがステーターとなる。

そこで、こういったコア無しの発電機の開発を目的とした磁石の配置を検討することと



図4 Air403 内部構造

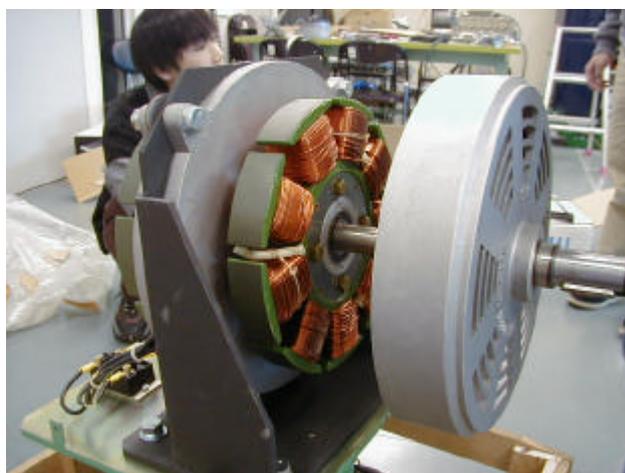


図5 新日本技研 1kW 発電機

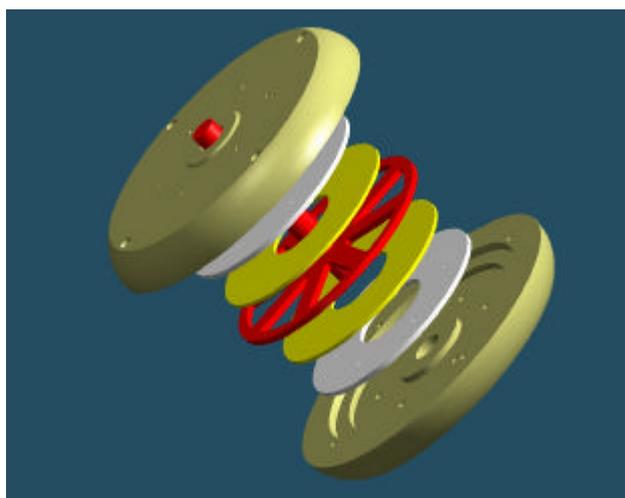


図6 磁石対向型発電機

した。

コイルについては（図 7）に示すような形状であり、これを組み合わせたものを樹脂で固めている。この、コイルを巻いて樹脂で固めた部分は空気と同じ透磁率であるため、鉄に比べて磁束が通り難くなっている（ $B = \mu H$ より磁束が小さくなる）が、コギングトルクの問題や渦電流による磁場の回転方向への流れによって生ずる有効な磁束の減少の問題が起きにくいと考えられる。従って、性能の向



上を図るため希土類磁石など強力なものに置き換えても、回転時に必要となるトルクはそれ程増加しないと考えられる。

1.5問題点および目標

以上の点を踏まえた上で、主な問題点を整理すると、

コイルの配置

磁石の配置

コギングトルク

渦電流による磁場の回転方向への流れによって生ずる有効な磁束の減少（鉄心の及ぼす影響）

である。

先ほども述べたように、現状では製品ごとにより内部の磁石配置はまちまちであるが、今回、有限要素法の磁場解析を用いて最適な磁石配置、すなわちコイルにとって有効な磁束を得るための磁石の最適配置を見出すことを目標とし、低風速でも十分発電できる高効率発電機を開発する。

また、渦電流による磁場の回転方向への流れによって生ずる有効な磁束の現象の問題について、鉄心が磁場に及ぼす影響については、現在株式会社エルフの協力により、積分要素法の動磁場解析を用いて調査中である。

第2章 実験内容

2.1 実験目的

実際の磁石やバックヨークなどを用いて実験を行い、対向する磁石間の距離および隣り合う磁石間の距離を変えて、対向する磁石間ギャップをガウスメータで計測することにより、次章で行う解析の結果と比較検討する。

この実験については、高知高専 野村教授が実施され比較データとした。

2.1 実験装置と実験方法

5組のフェライト磁石をそれぞれ鉄製のバックヨークに接着する。なお、バックヨーク間是非磁性体で接続されている。(図8) 使用した磁石は、縦5mm・横10mm・奥行き30mmのフェライト磁石を使用した。なお、このフェライト磁石表面の中央部における磁束密度は約0.423 [T]であった。

このような実験装置で、対向する磁石間距離 (L) を5mm~25mm、隣り合う磁石間距離 (D) を0mm~15mmまでそれぞれ間隔を変えて、5組ある磁石の中央に位置する向かい合う1組の磁石中央部における磁束密度の値をガウスメータで計測した。

なお、使用したガウスメータの仕様を(表1)に示す。

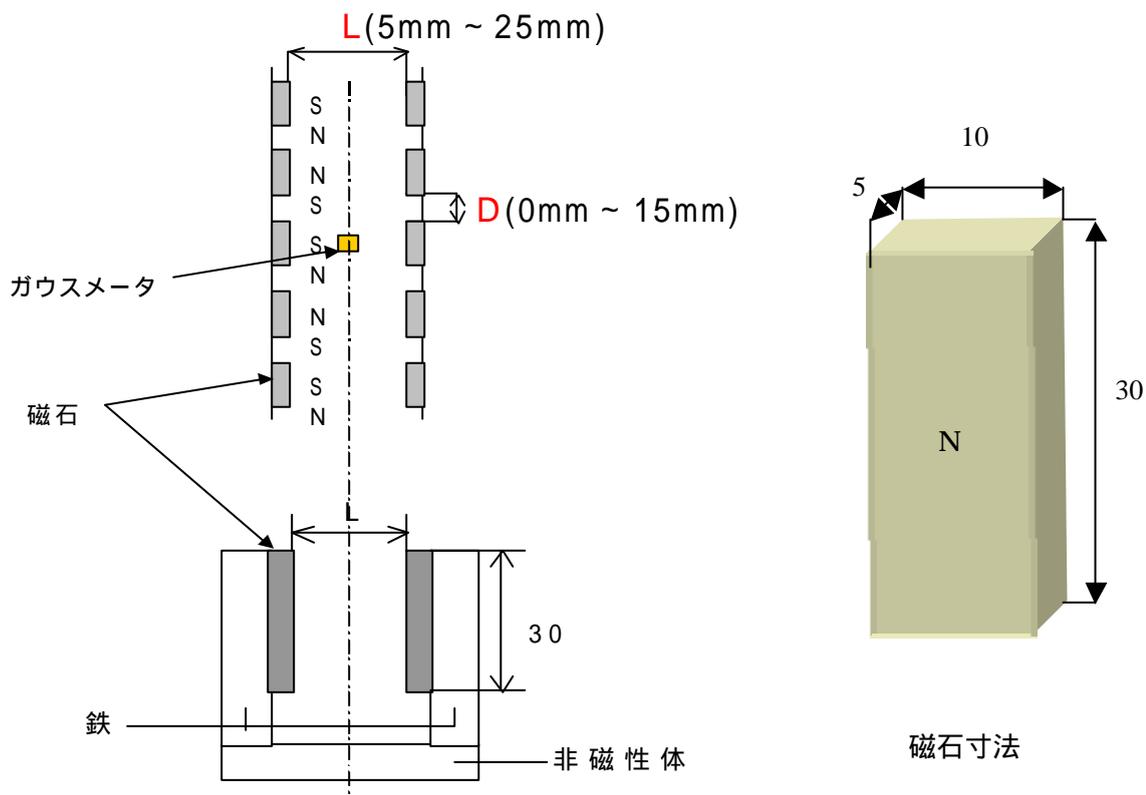


図8 実験装置

表 1 ガウスメータの仕様

メーカー	F.W.BELL 社製 Model6010
センサー	HTD61-0608-05-T (トランスバース型)
有効直径	1.778mm
最大測定値	30kG
分解能	0.1G (レンジ 300G) 1G (レンジ 3kG)

第3章 解析内容

3.1 解析目的

第 3 章で使用した実験装置をモデル化し，有限要素法の磁場解析ソフトである PHOTO-EDDY と、汎用プリポストプロセッサ FEMAP を用いて解析を行い，実験データと計算値の比較および検証を行う。(図 9) その上で、さらに向かい合う磁石の中央部における磁束密度の分布 (図中 a)，あるいは向かい合う磁石間の磁束密度の分布 (図中 b) などを調べ，漏れ磁束が少なく効率の良い発電が出来る磁石の配置を導き出し、低回転用小型風力発電機の最適設計の指針とする。

なお、本解析に使用したパソコンは、CPU Athron750MHz・Memory 384MB・Hard Disk 20GB である。解析にかかった時間は 1 計算あたり約 5 秒～40 秒である。

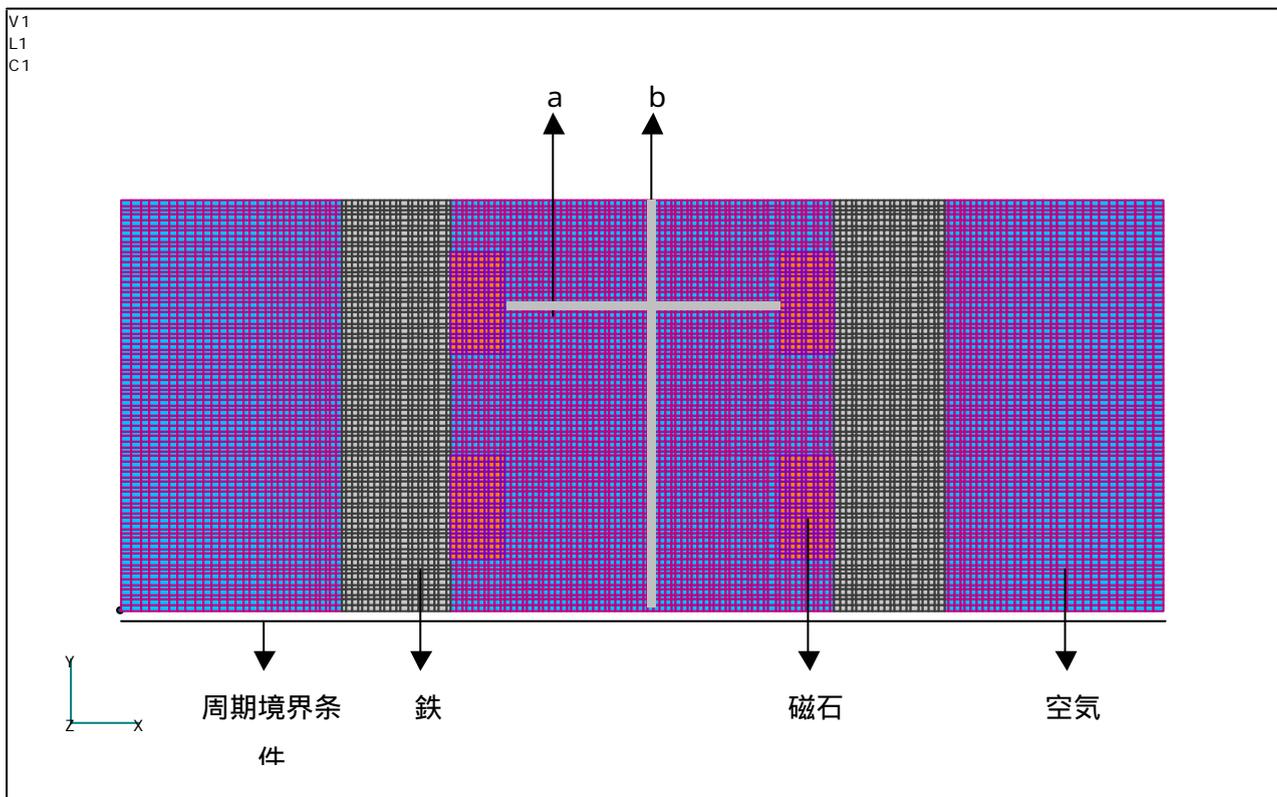


図 9 解析モデル

3.2 解析条件

以下に示すような条件で解析を行う。

- 厚みが十分ある場合は現実的な近似となるため，2次元のモデルとする。
- 鉄の磁気飽和は無いと考え，初期微分透磁率から線形で比透磁率 $\mu_r=1000$ とする。
- 静解析
- 実験モデルでは 5 組の磁石を使用して計測したが，解析については計算規模の点を考慮し

て、周期性から 2 組の磁石のみをモデル化する。

3.3 解析手順

4.2 に示した解析条件の下で、実験と同様に対向する磁石間距離(L)を 5mm ~ 25mm、隣り合う磁石間距離(D)を 0mm ~ 15mm までそれぞれ変えた場合と、磁石幅を 10mm および 20mm に変えた場合についてそれぞれ計算を行う。

3.4 物性条件

各材料の比透磁率として、下記に示す値を使用した。

- 空気 比透磁率 $\mu_r = 1$
- 鉄 比透磁率 $\mu_r = 1000$
- 磁石 比透磁率 $\mu_r = 1.05$

3.5 境界条件および磁化の値

周期性からモデルの下辺に周期境界条件を設定し、磁石が無限組続いているものとして計算を行った。また、モデルの左辺および右辺には磁気ベクトルポテンシャル = 0 となるノードの完全拘束条件を設定した。

磁石については、実験で使用した磁石の強さが不明であったので、テストモデルを作成して磁石表面で 0.436[T]であること及び実験結果と一致するように磁化の値を求めた。その結果として得られた磁化の値 $M = 145000\text{A/m}$ を磁石要素に入力する。

第4章 実験結果および解析結果

4.1 実験結果と解析結果の比較

まず、実験結果と解析結果をまとめたものを(図10)に示す。

横軸が隣り合う磁石との間隔D(mm)、縦軸がギャップ中央部での磁束密度(T)を表す。対向する磁石の間隔L(mm)は色で分類している。実線は実験結果、破線は解析結果を表す。

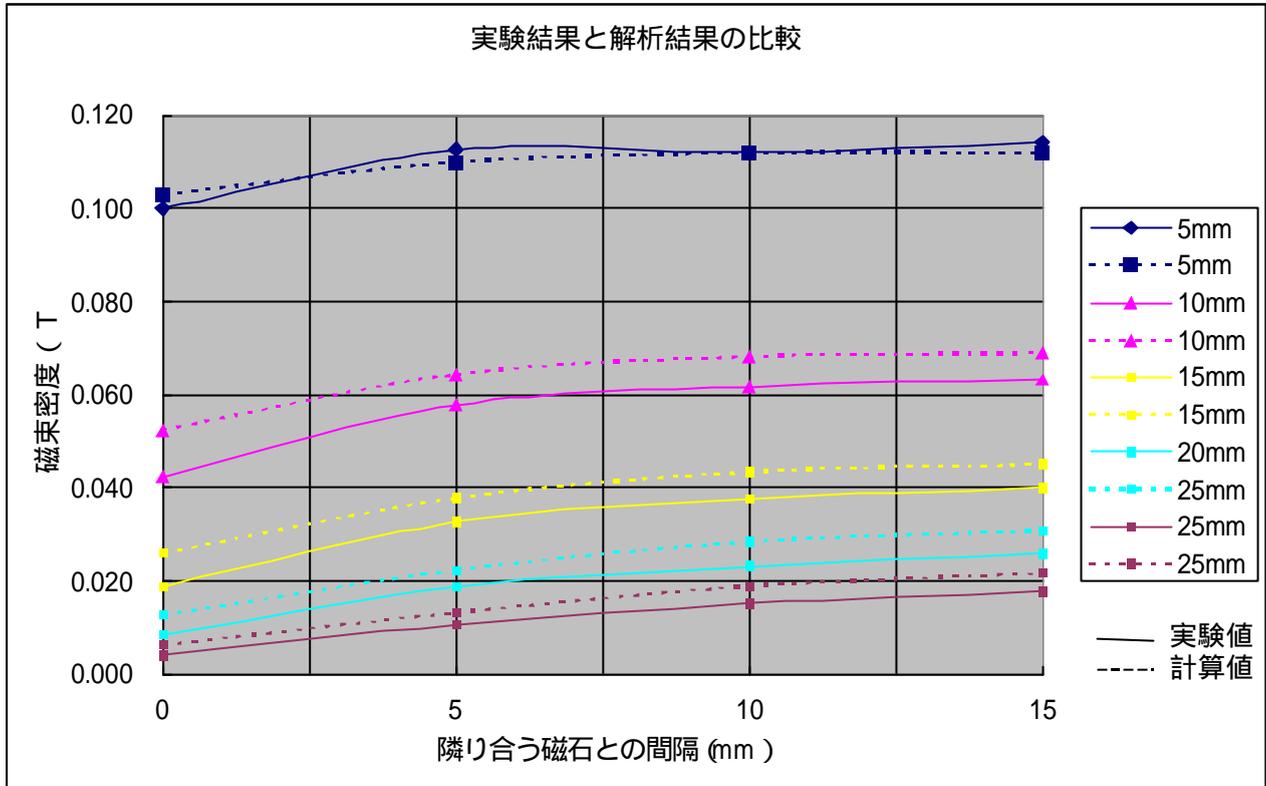


図 10 実験結果と解析結果の比較

対向磁石間距離が 5mm などほぼ一致している。また、10mm~25mm についても若干の誤差が生じているが、計算値は実験値と同じ傾向を示す。従って、磁石表面の磁束密度約 0.423[T] に対して最大の誤差でも 2.4% と十分小さいため、本解析は以後行う計算に適用できると言える。

4.2 解析結果及び考察

解析結果について、(図9)の a で示すような断面における対向する磁石間距離 L - 磁束密度 B の関係を(図11)~(図15)に、(図9)の b で示すような断面における隣り合う磁石間距離 D - 磁束密度 B の関係を(図16)~(図20)に示す。さらに、解析後ポスト処理を行った磁束密度コンター図を P.19~P.46 に、ベクトル図を P.47~P.74 に、対向する磁石間距離 L ごとに分類して表す。

すべてのグラフ中の凡例については、以下のように定義する。

- b 空気になるべき領域を磁石領域の増加に当てたもの。磁石幅 14mm
- c 空気になるべき領域を磁石領域の増加に当てたもの。磁石幅 19mm
- d 空気になるべき領域を磁石領域の増加に当てたもの。磁石幅 24mm
- A 磁石幅 10mm で隣り合う磁石との間隔 D=0
- B 磁石幅 10mm で隣り合う磁石との間隔 D=5
- C 磁石幅 10mm で隣り合う磁石との間隔 D=10
- D 磁石幅 10mm で隣り合う磁石との間隔 D=15
- 2A 磁石幅 20mm で隣り合う磁石との間隔 D=0
- 2B 磁石幅 20mm で隣り合う磁石との間隔 D=5
- 2C 磁石幅 20mm で隣り合う磁石との間隔 D=10
- 2D 磁石幅 20mm で隣り合う磁石との間隔 D=15

また、磁束密度コンター図においては、すべての図のフルスケールを統一すると対向する磁石間距離 L が大きい時など磁束密度が低い場合に目視で確認できなくなる。そのため、より見やすいように分類ごとにフルスケールのレンジを変更している。

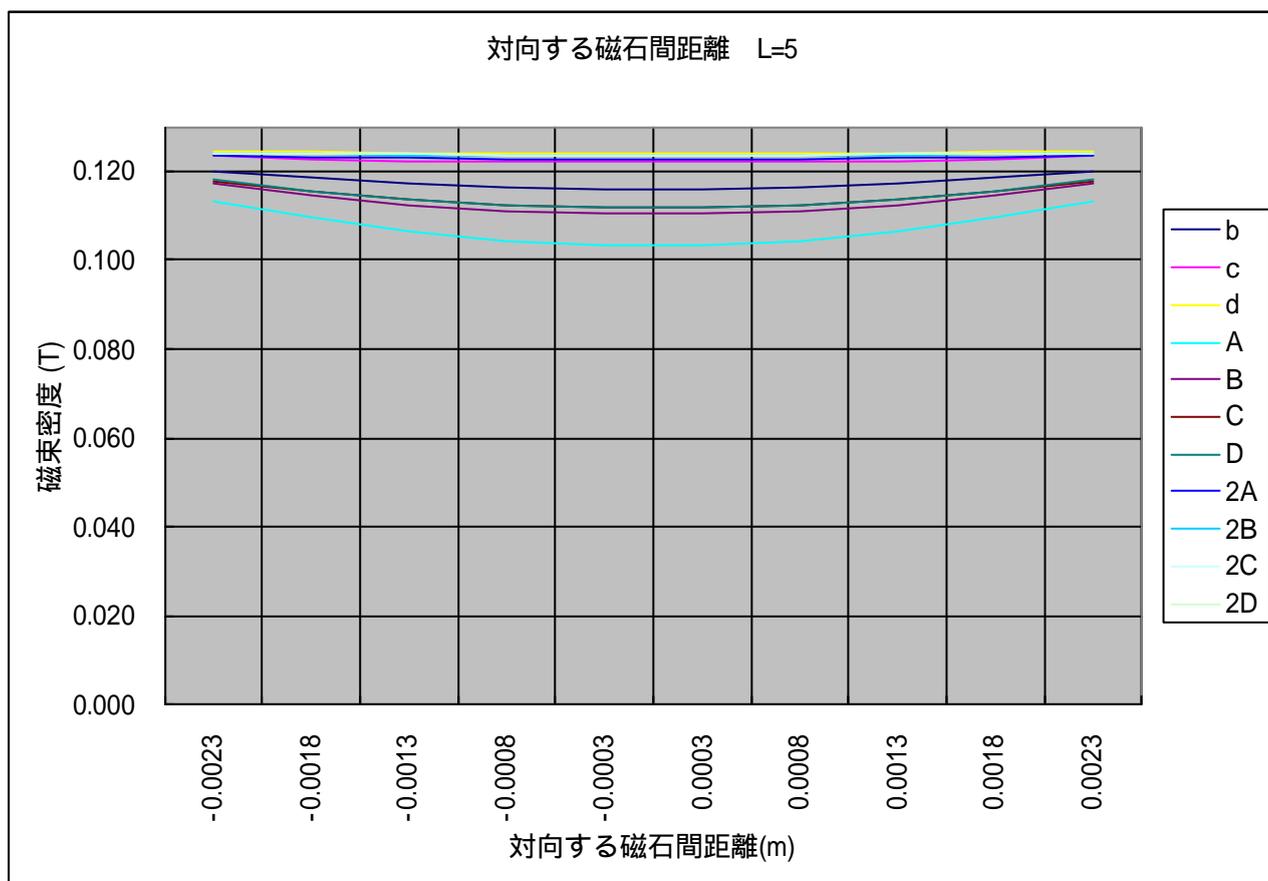


図 11 対向する磁石間距離 $L=5$

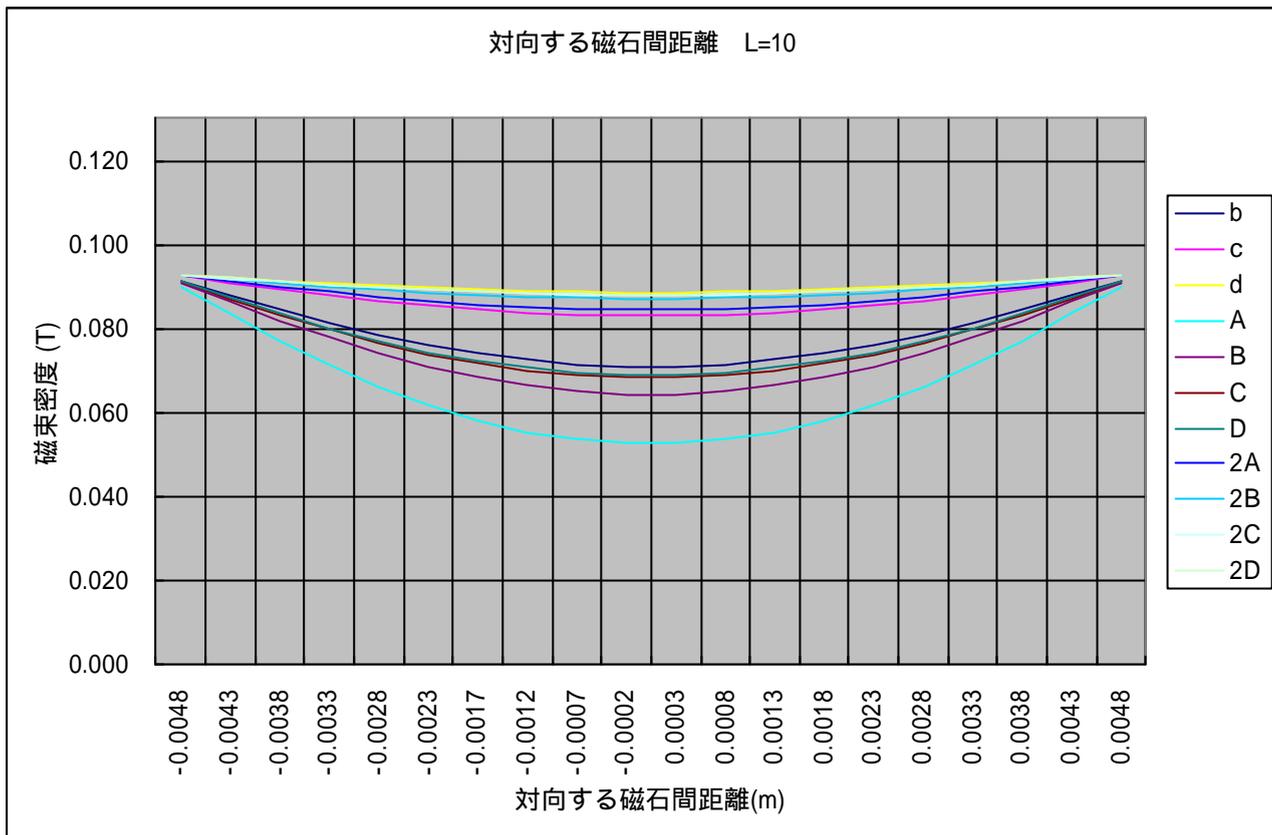


図 12 対向する磁石間距離 L=10

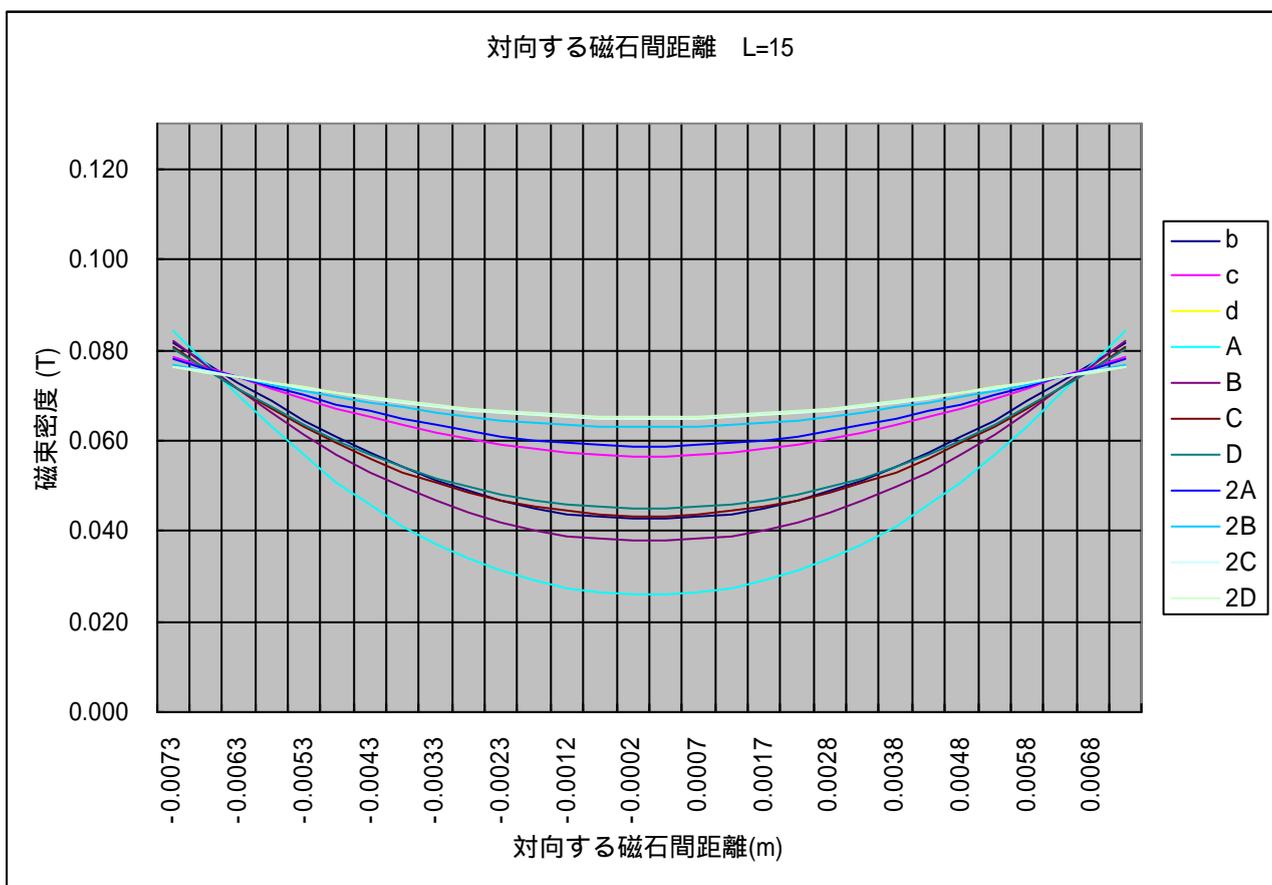


図 13 対向する磁石間距離 L=15

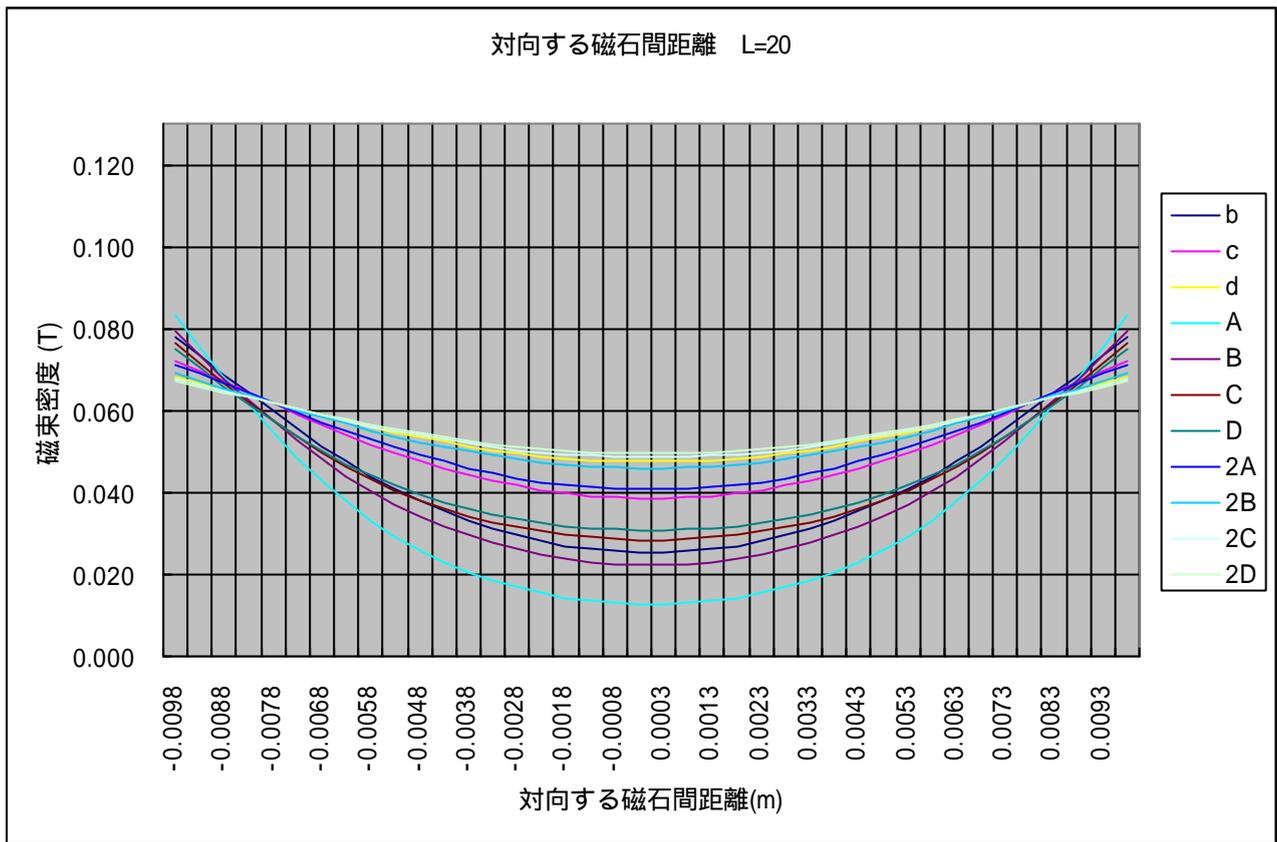


図 14 対向する磁石間距離 L=20

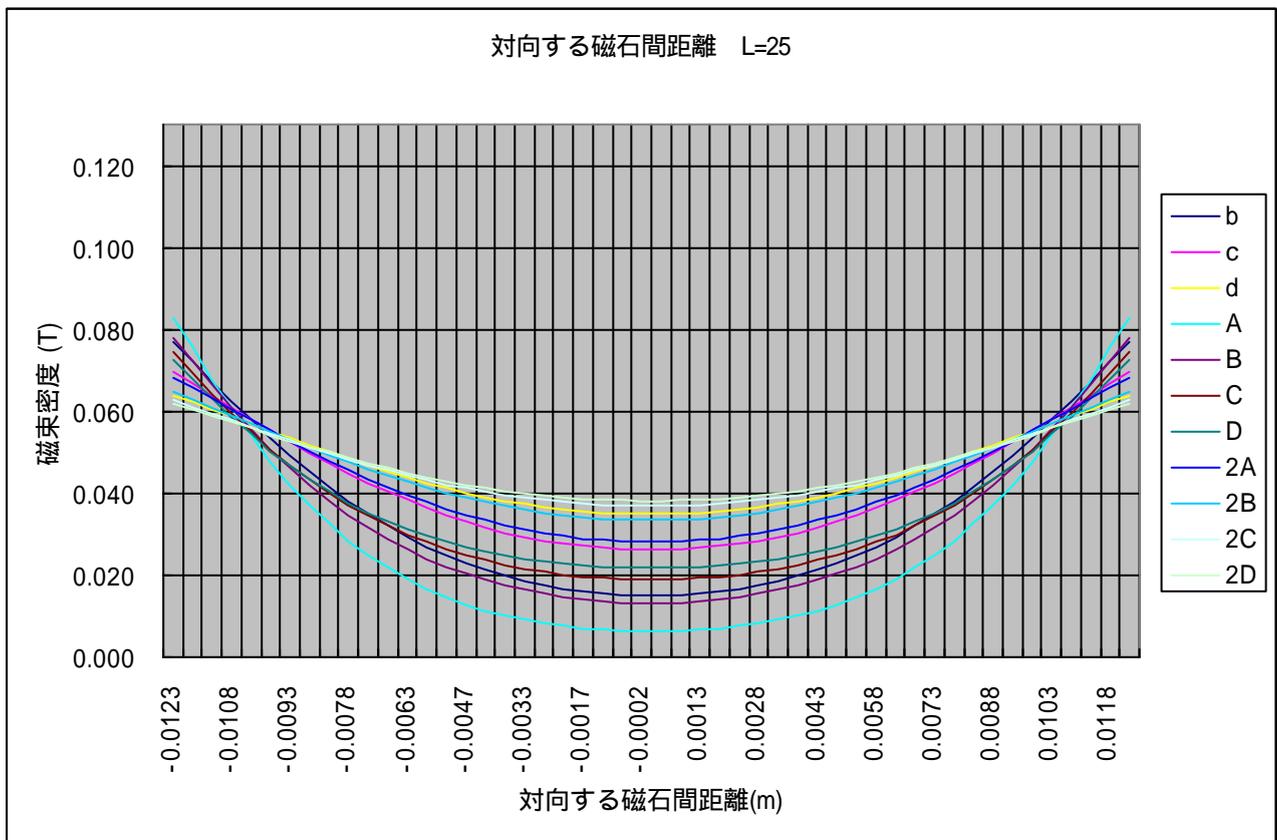


図 15 対向する磁石間距離 L=25

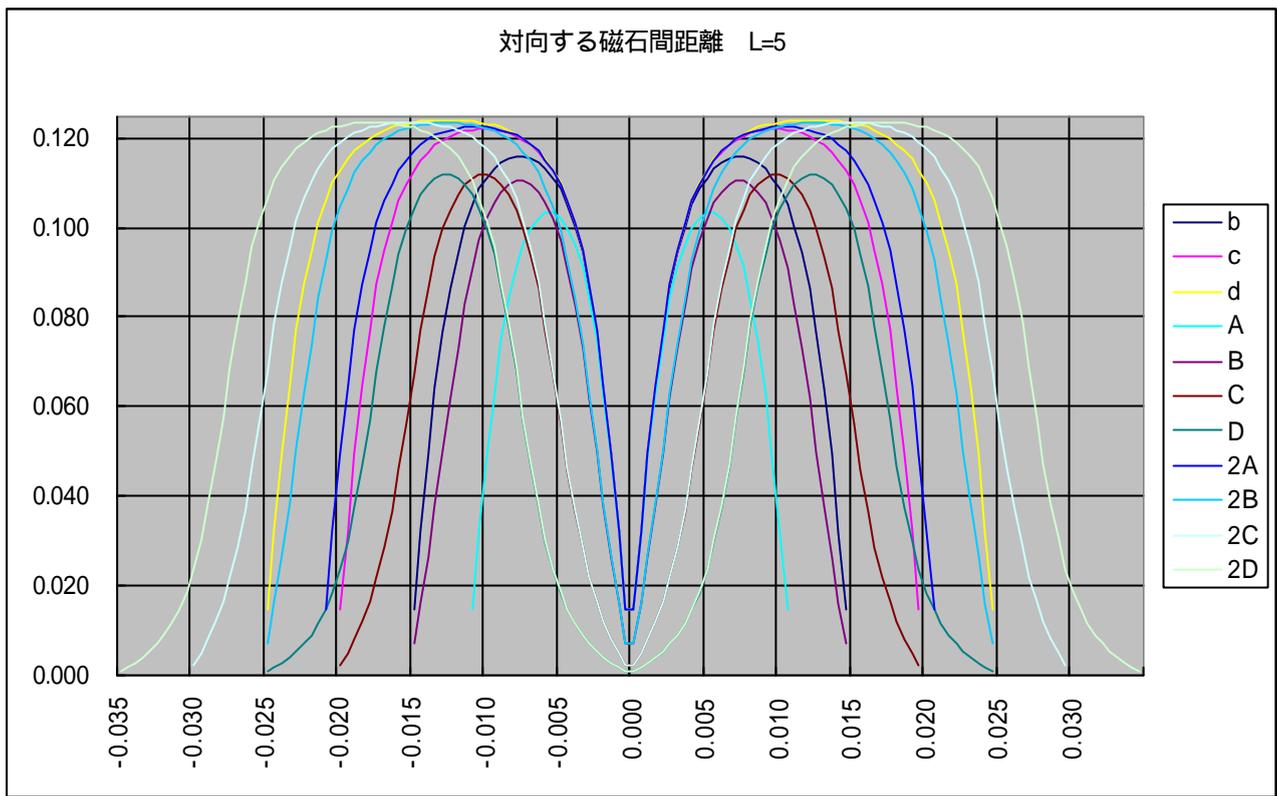


図 16 対向する磁石間距離 L=5

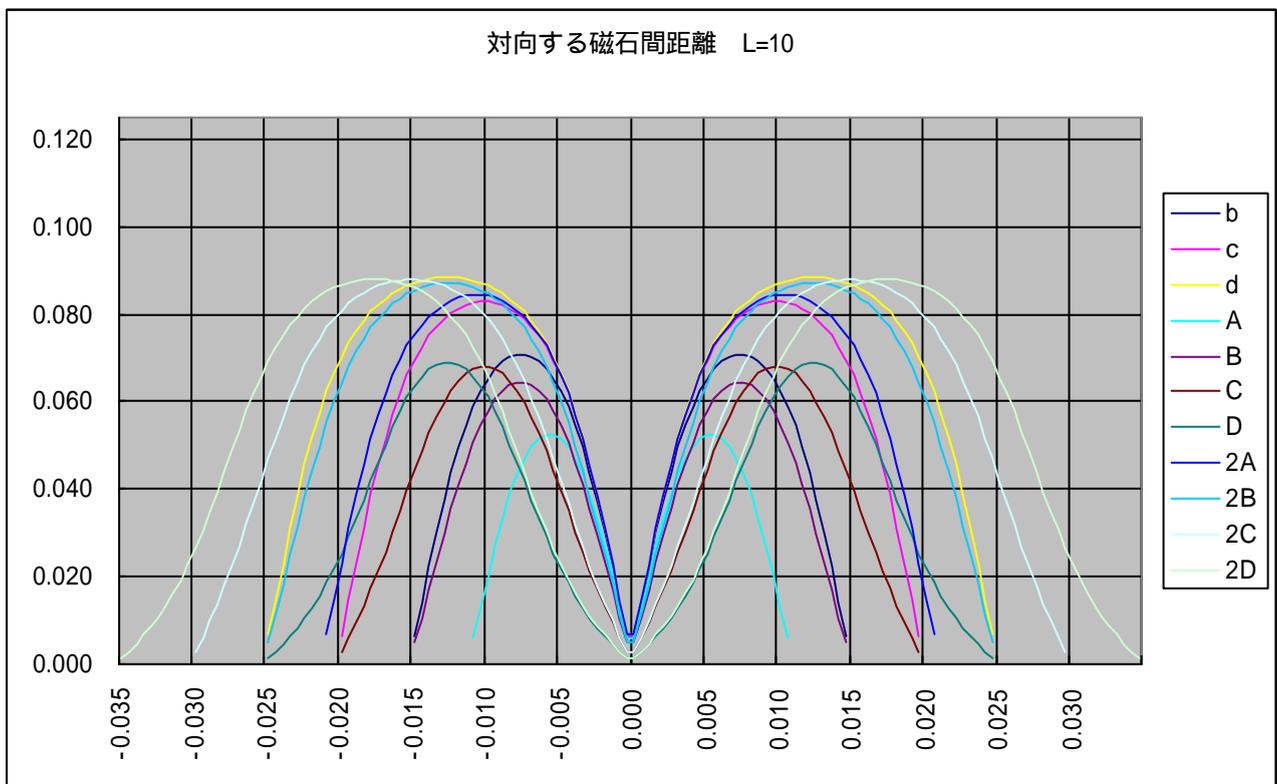


図 17 対向する磁石間距離 L=10

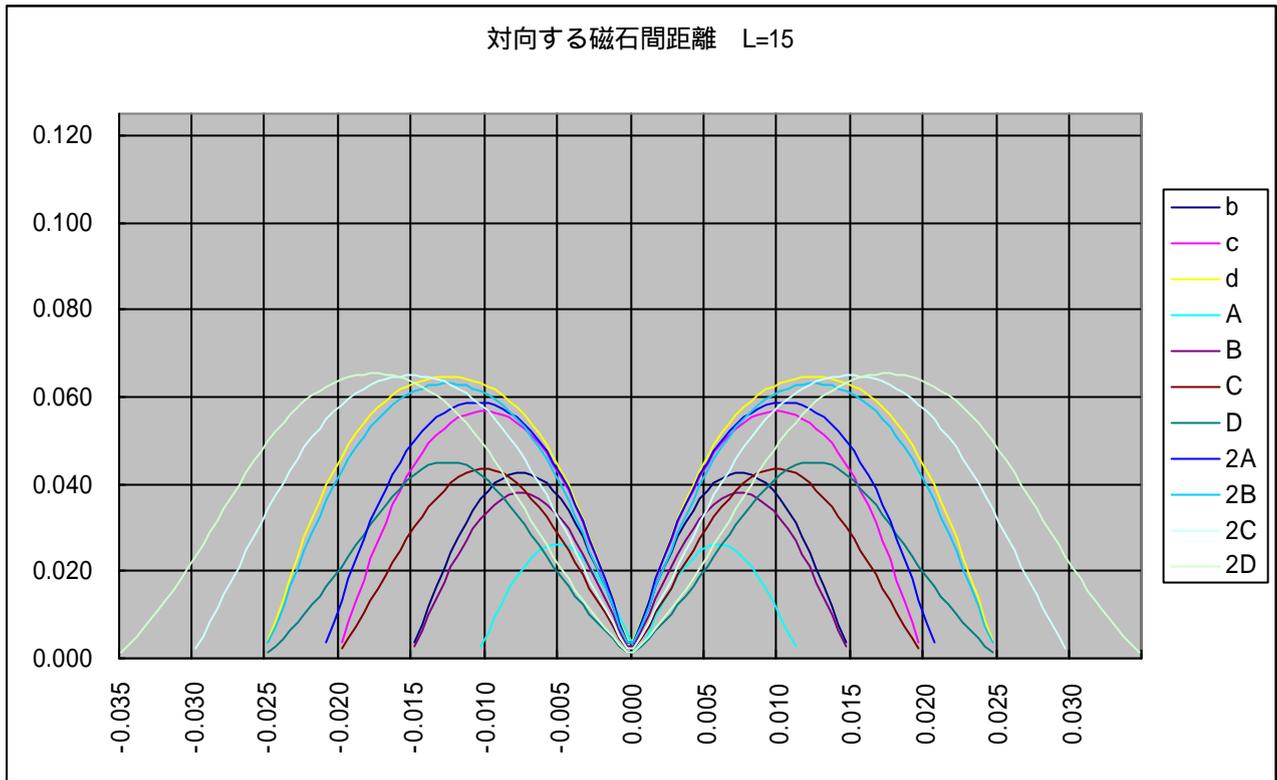


図 18 対向する磁石間距離 L=15

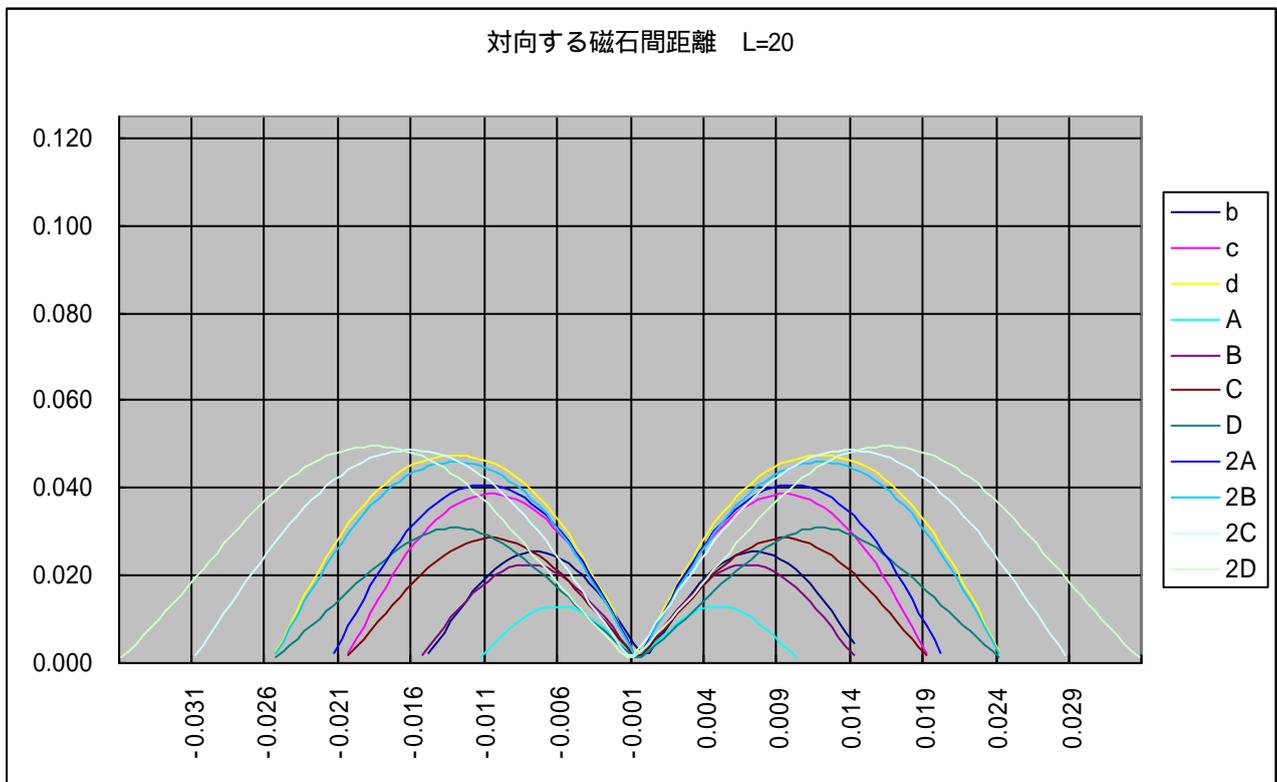


図 19 対向する磁石間距離 L=20

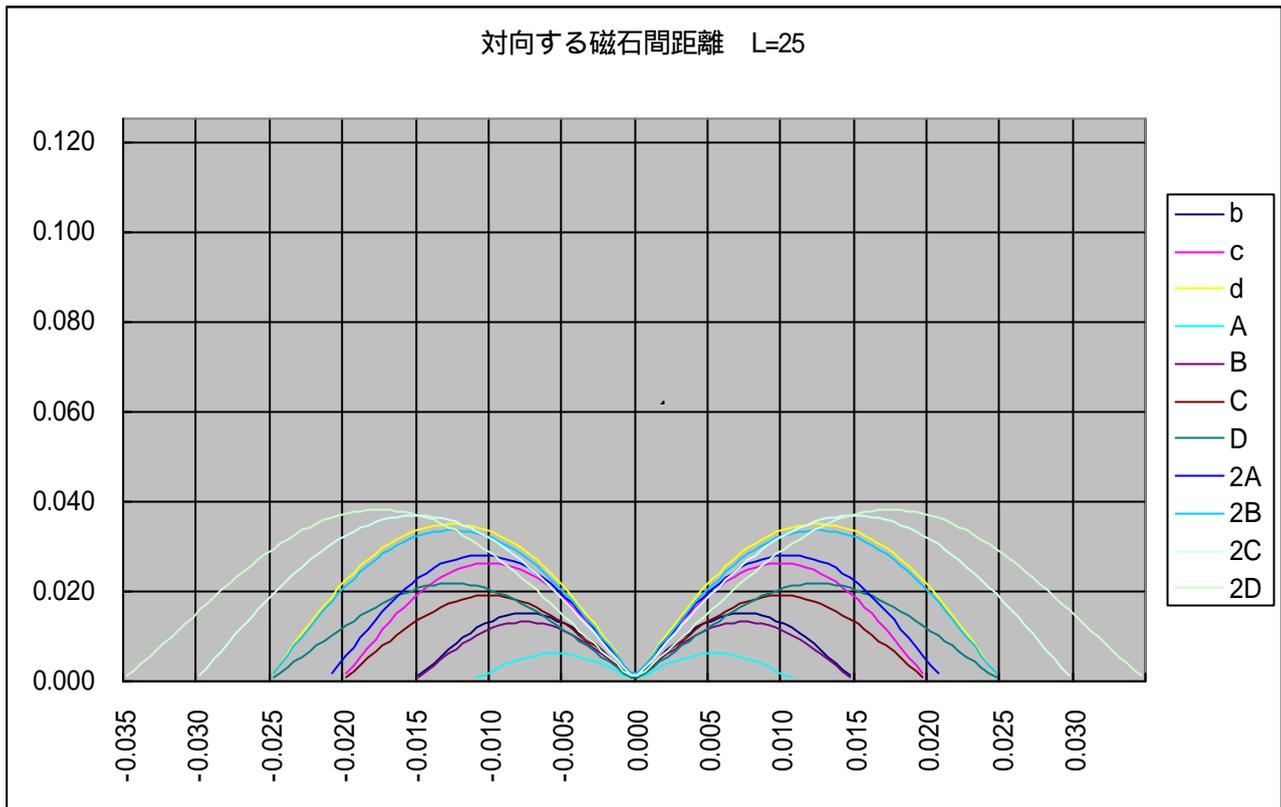


図 20 対向する磁石間距離 L=25

4.3 解析結果グラフについて

b・c・dについては磁石幅を最大に取った場合で、それぞれ磁石幅は 15mm・20mm・25mm となる。

はじめに、(図 11)～(図 15)に注目する。

これは当然のことであるが、対向する磁石間距離 L が小さいほどギャップ間における磁束密度が高い。

まず、一般的にコイルが通過すると思われる X 軸上の左端および右端から 1.5mm を除いた中央部分に注目してみる。磁石幅 10mm の A・B・C・D については、全般的にギャップ中央部での磁束密度が低下しており、L の値が大きくなるほど磁束密度が低下する。それに対し、磁石幅 20mm の 2A・2B・2C・2D については、磁石幅 10mm のものに比べ L の値が大きくなってもギャップ中央部における磁束密度の落ち込みは比較的少なくなっている。

すなわち、2A・2B・2C・2D・d についてはどのグラフについても、他の配置の仕方(磁石幅・間隔)よりギャップ中央部における磁束密度の低下が緩やかであり、すべてにおいて 10mm の磁石幅より上に位置しており、効率が高いとすることができる。

磁石幅 10mm の配置について全般的に磁束密度が低い原因として考えられるのが、A・B・C・D は対向する磁石間隔に比べて隣り合う磁石の距離が非常に小さく、特に A の場合は隣り合う磁石との間隔が 0 のため、対向する磁石に向かうべき有効な磁束が磁石表面に対して平行に(すなわち隣り合う磁石)に行くものがいためと考えられる。

さらに、占有幅が同じ組み合わせ、すなわち磁石幅と隣り合う磁石との間隔を足し合わせた1組の長さが同じものについて比較してみると、(磁石幅/隣り合う磁石との間隔)が $b(14/1)$ 、 $B(10/5)$ の物については $b > B$ の順序で、 $c(19/1)$ 、 $C(10/10)$ 、 $2A(20/0)$ は、 $2A > c > C$ の順序でギャップ中央部での磁束密度が低下していく。従って、ギャップ中央部での磁束密度を大きく取る配置としては、重量や極数及びコストを考慮しなければ、各組み合わせのうち初めの物を採用すればよいことになる。

しかしながら、後述する磁石表面に対して平行な断面での磁束分布も考慮する必要がある。

(図16)~(図20)に注目してみる。極数が多く出来、且つ $N \cdot S$ での磁束の変化が激しいほうがコイルに電流が多く発生するため、グラフの形状として両側では著しく低下するが中央部では急激に上昇しかつその頂上部が平らであり、さらに左右の幅が小さいものほど高効率であると考えられる。しかしながら左右の幅が狭いと磁石表面に対して平行に流れる無効な磁束が増加するため、全般的に高い磁束密度が得られていない。

全体の傾向として、磁束の低いほうから順に A 、 $b \cdot B \cdot C \cdot D$ 、 $c \cdot d \cdot 2C \cdot 2D$ という3組に分かれている。これは L の値が大きくなるほど崩れていくが、傾向としてはほぼ同じである。

さらに類似しているものを比較すると、 b と B が同じであり、 d と $2B$ が同じであるが、磁石の大きさと重さやコストを考慮すると $2B$ が良い。

d と $2C$ と $2D$ については磁束密度の点から同じであるが、幅を考慮すると d が良い。

そこで、幅が同じものを比較してみる。

b (磁石幅 15mm/空気幅 0mm)と B (磁石幅 10mm/空気幅 5mm)

c (磁石幅 20mm/空気幅 0mm)と C (磁石幅 10mm/空気幅 10mm)

d (磁石幅 25mm/空気幅 0mm)と $2B$ (磁石幅 20mm/空気幅 5mm)

すると、 b 及び B は明らかに違いがあるが、 c については若干 $2B$ が高いもののほとんど2つについて違いは無い。したがって、隣り合う磁石間距離が 25mm 以上あれば 5mm 以上空気領域をとっても性能向上は図れないと考えられる。

また、コイル巻き幅が磁石の幅と同じである必要は無く、内径が若干狭いほうが良いと思われる。なぜならば、磁束密度のやや低いところを拾おうとする広いコイルの巻き方よりも、磁束密度が高い部分を集中的に拾うほうがコイルのターン数を稼ぐことが出来、またコイルの線形も太く出来るのでスペースの面で有利であると思ったからである。

第5章 結論およびまとめ

永久磁石発電機的设计のために磁石配置に関する実験および解析を行い、以下のことが明らかになった。

解析結果は実測値と数値および傾向が一致することが分かり、磁石の最適は配置の検討に利用できる。

対向する磁石間隔 L は小さいほうが、ギャップ間磁束密度が高く良い。

ある一つの磁石幅(10mm)で固定し、隣り合う磁石との間隔を変えて磁石の最適配置を考慮する場合、隣り合う磁石との間隔を磁石の幅と同程度あげれば無効な漏れ磁束を減少させることが出来る。しかし、それ以上空けても効果はあがらない。

磁石幅が 20mm 以上の場合について、隣り合う磁石との間隔を変えて磁石の最適配置を考慮すると、隣り合う磁石との間隔を磁石の幅のおよそ 20% 以上空けると、無効な漏れ磁束を減少させる効果はあがらない。

有効な発電量には、磁石の数、磁石間の磁束密度、磁石配置の外径に影響されるということが明らかになった。

今回の解析についてはまだ検討が十分なされていないが、結果に基づいてさらに最適な発電機設計を検討していきたい。

今後の課題

今回行った解析では、2次元の静磁場解析である。磁石の幅に対して奥行きが十分であると仮定した上で行った計算であり、同一モデルを2次元と3次元で解析して比較したところ、ほぼ2次元で近似できることがわかっている。

しかしながら、解析対象のバックヨークの底部分が今回のように非磁性体ではなく磁性体である場合は、計算結果に僅かながら差が出てくることがあるかもしれない。また、風力発電機を総合的に評価し最適設計を進めるためには、動磁場解析を用いて回転力やコイルに流れる電流、またそれに起因する回転負荷も考慮に入れるなど、総合的に連携して解析を進めていく必要があると考える。

謝辞

終わりに、本研究における磁束密度の測定については、高知高専 野村教授が実施され、本解析の比較データとさせていただきました。深く御礼申し上げます。

また、本研究において終始ご指導ご鞭撻を頂いた坂本東男教授につきましても、厚く御礼申し上げます。

学会発表

- 1) 坂本東男、松岡順一、伊藤淳、内野喬誌、横山應祥、製品分解による小型風力発電機、小型水力発電機的设计思想、エコデザイン 2000 ジャパンシンポジウム、2000年12月、p90-93 (付録 - 1)

- 2) Haruo Sakamoto, Takashi Uchino, Noriaki, Onishi, Toru Kaino, Tatsuro Sawata, and Masaaki Yokoyama, Capstone Design and Manufacture of Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle, ASME Conference, Sept. 2001, to be presented.
(付録 - 2)
- 3) 横山應祥、坂本東男、澤田達郎、内野喬誌、小型電気自動車のフレームの応力解析、日本機械学会中国四国支部講演会、2001年3月、発表 (付録 - 3)
- 4) 坂本東男、内野喬誌、松岡順一、発電機の構造と磁場解析、日本機械学会中国四国支部講演会、2001年3月、発表 (付録 - 4)
- 5) 松岡順一、内野喬誌、坂本東男、小型風力発電機の製品分解と磁場解析による最適設計の検討、日本機械学会全国大会、2001年8月、発表予定

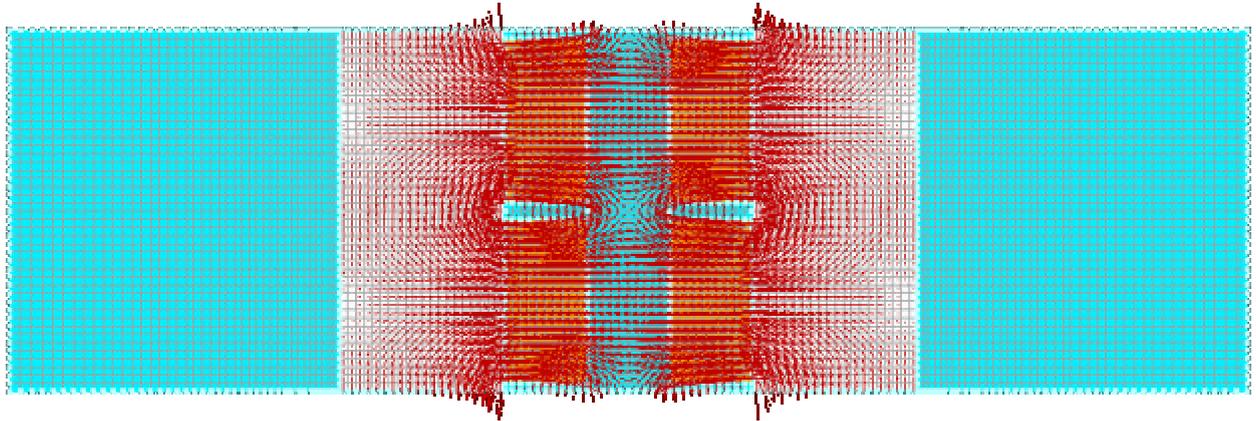
参考文献

- 1) 牛山泉 三野正洋、小型風車ハンドブック、パワー社
- 2) 電気学会、電気学会技術報告第 663 号、回転機の電磁界解析実用化技術の現状と実例
- 3) 山川和郎ら、永久磁石磁気回路の設計と応用、総合電子出版社
- 4) 長岡洋介、電磁気学 電場と磁場、岩波書店
- 5) 中田高義ら、電気工学の有限要素法、森北出版株式会社

解析結果 - ベクトル図

L=05 A

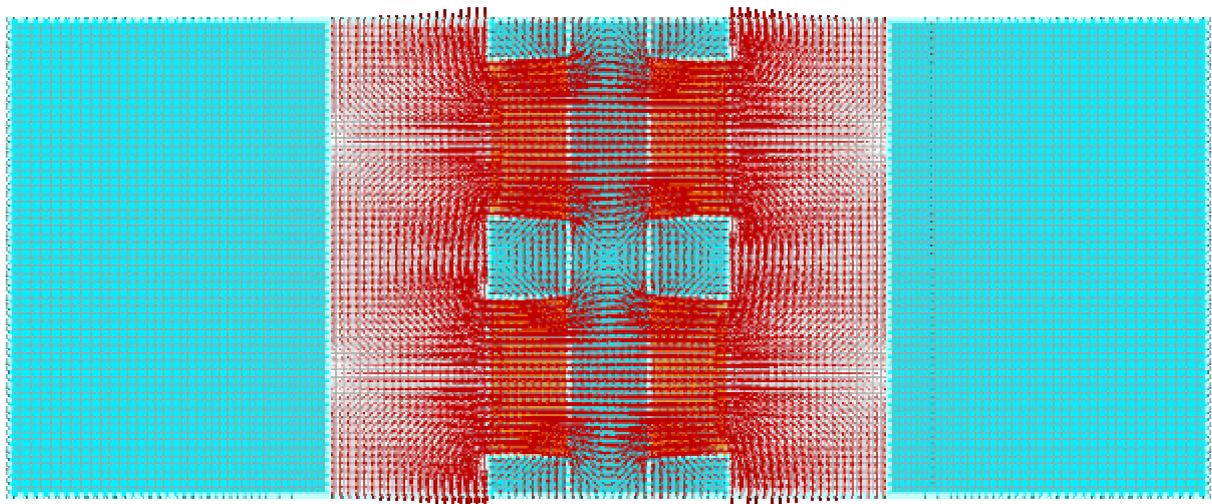
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=05 B

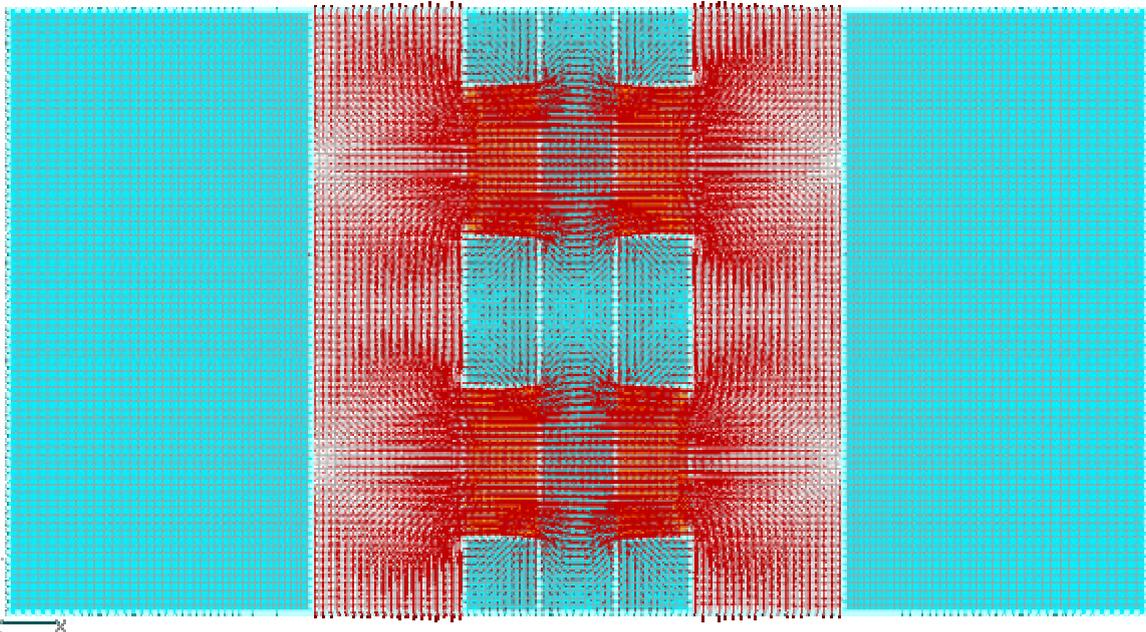
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=05 C

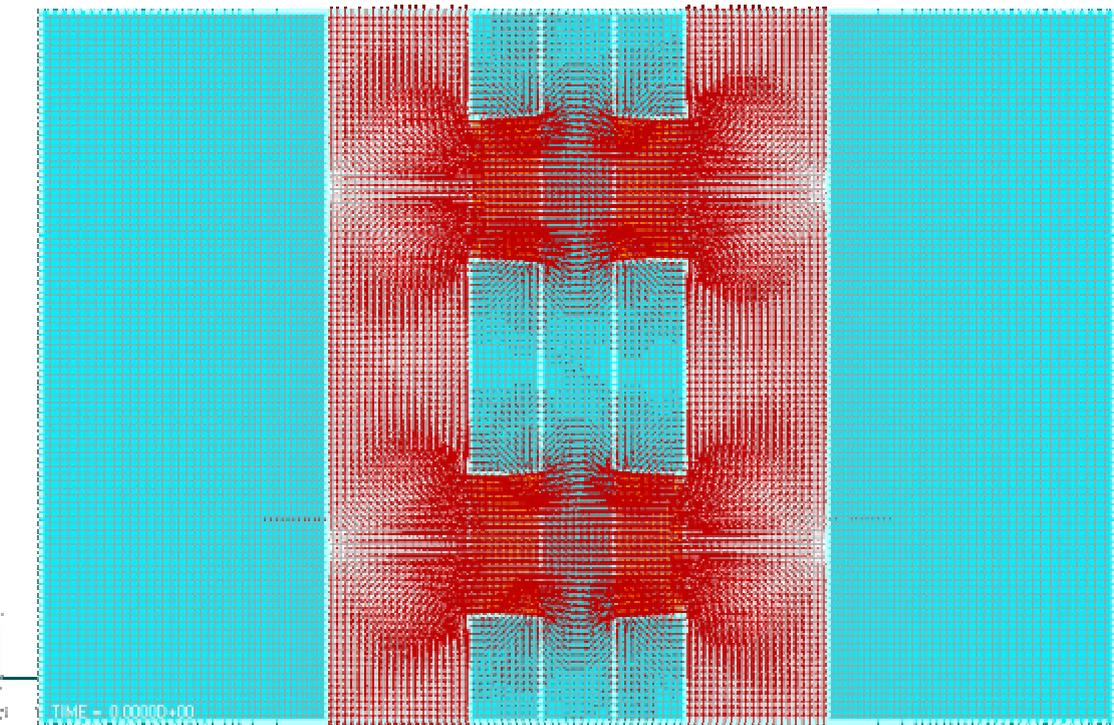
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = : 00000+00
3DContour/Vec 0

L=05 D

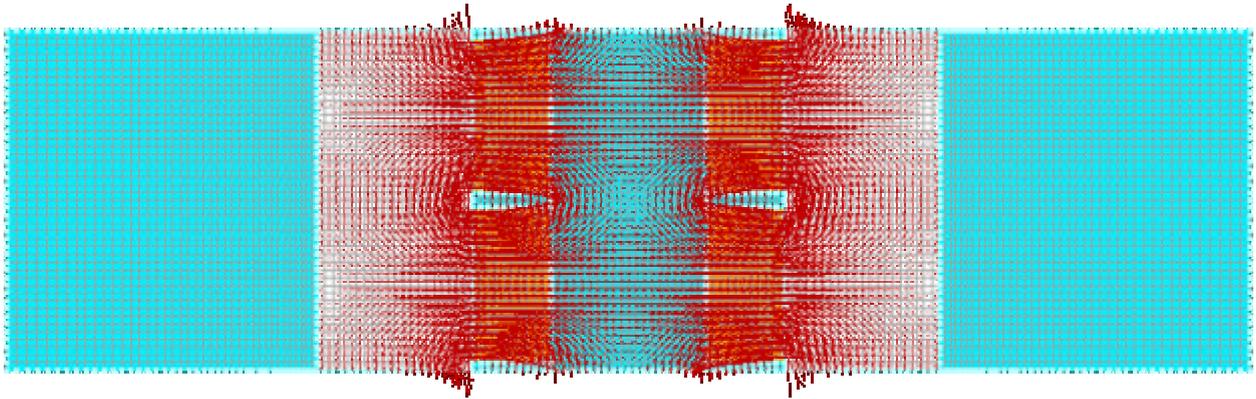
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 0.00000+00
3DContour/Vec 0

L=10 A

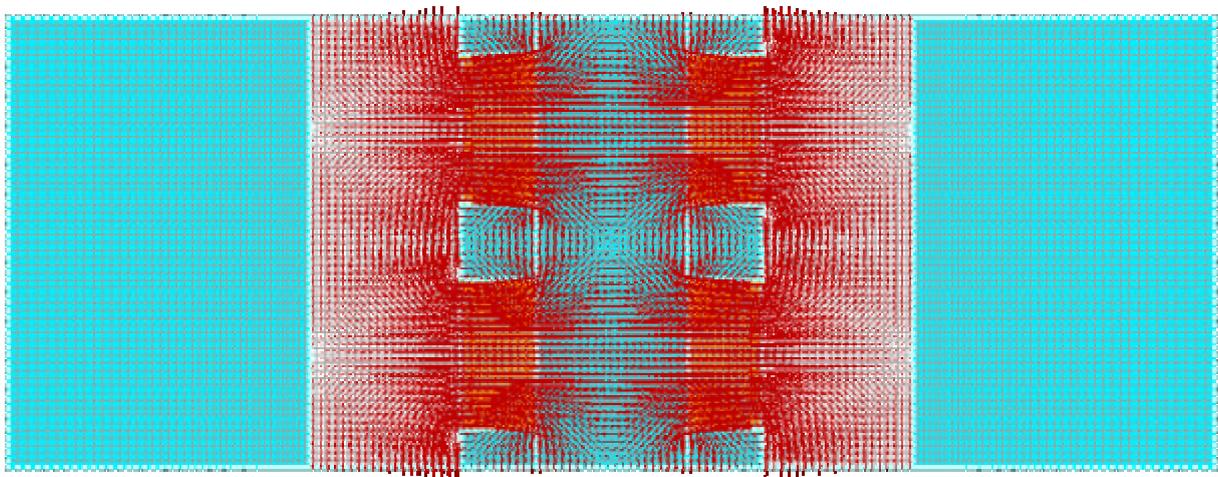
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConicElem Dk

L=10 B

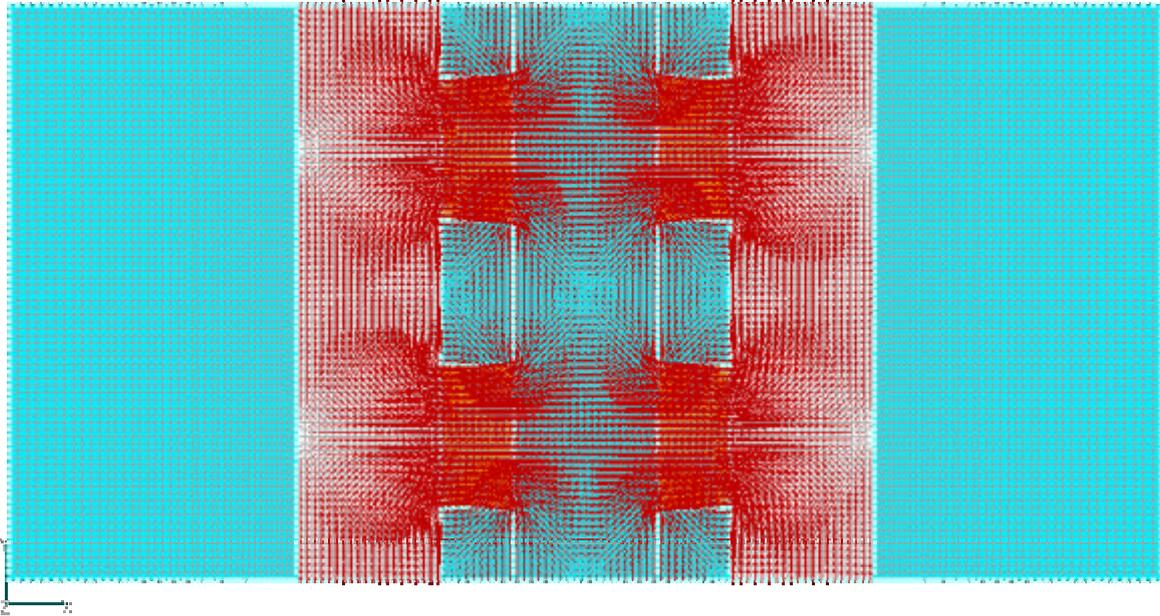
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConicElem Dk

L=10 C

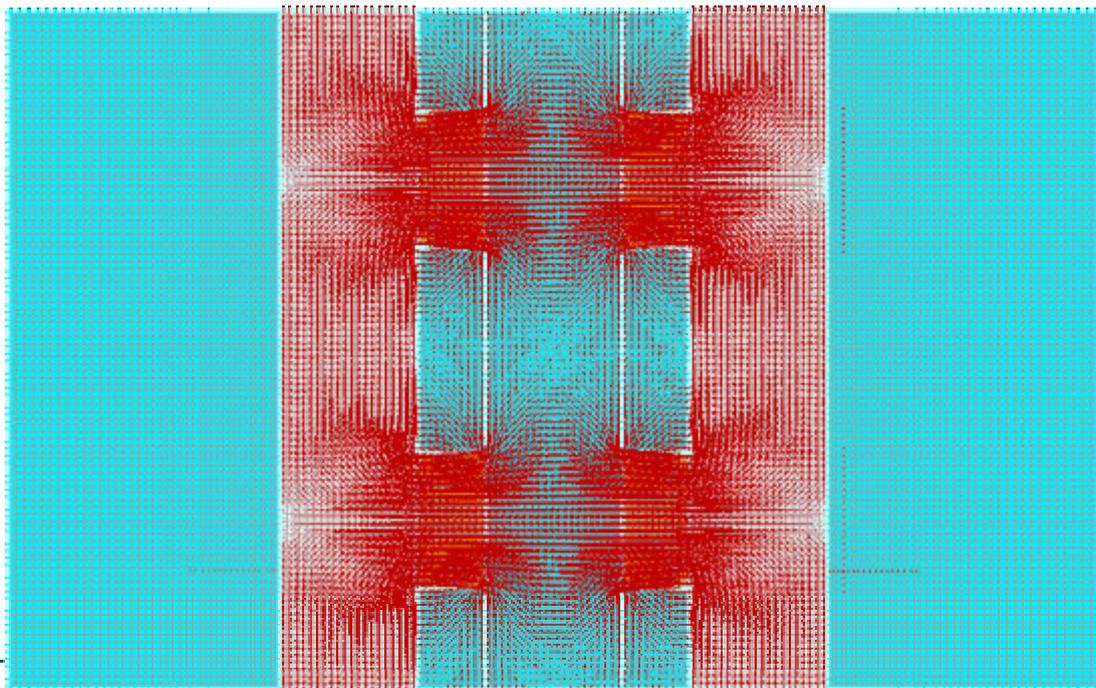
V
11
C1



Cutplot Set: 1 TIME = 0.00001E+00
2CConicVec Dx

L=10 D

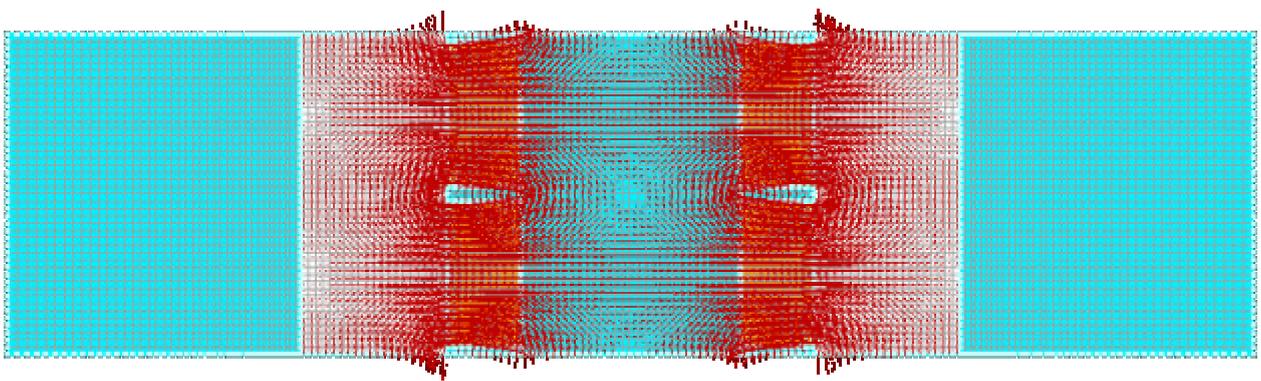
V
11
C1



Cutplot Set: 1 TIME = 0.00001E+00
2CConicVec Dx

L=15A

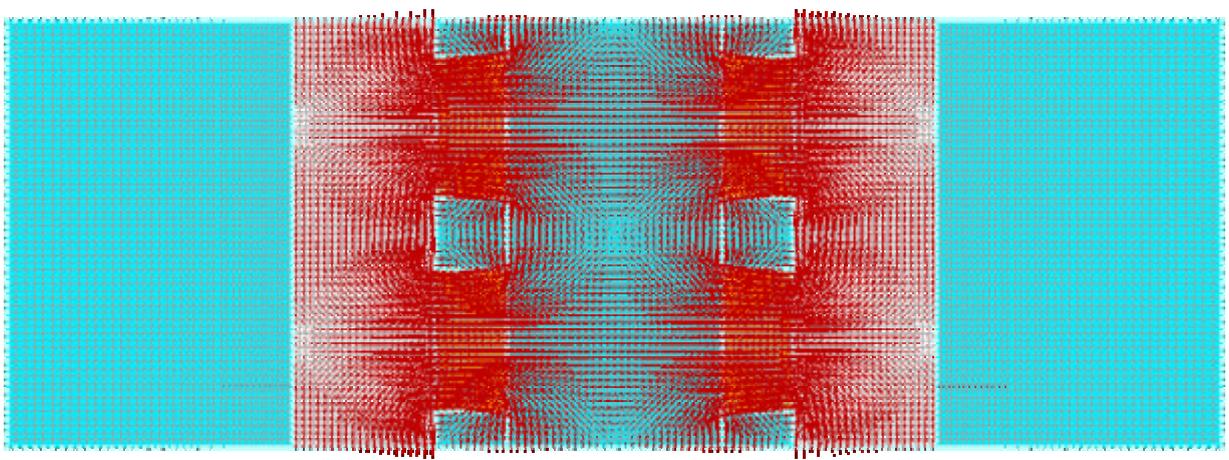
v1
11
U1



Output Set 1 TIME = 00:000:00
2DContour/Vec DX

L=15B

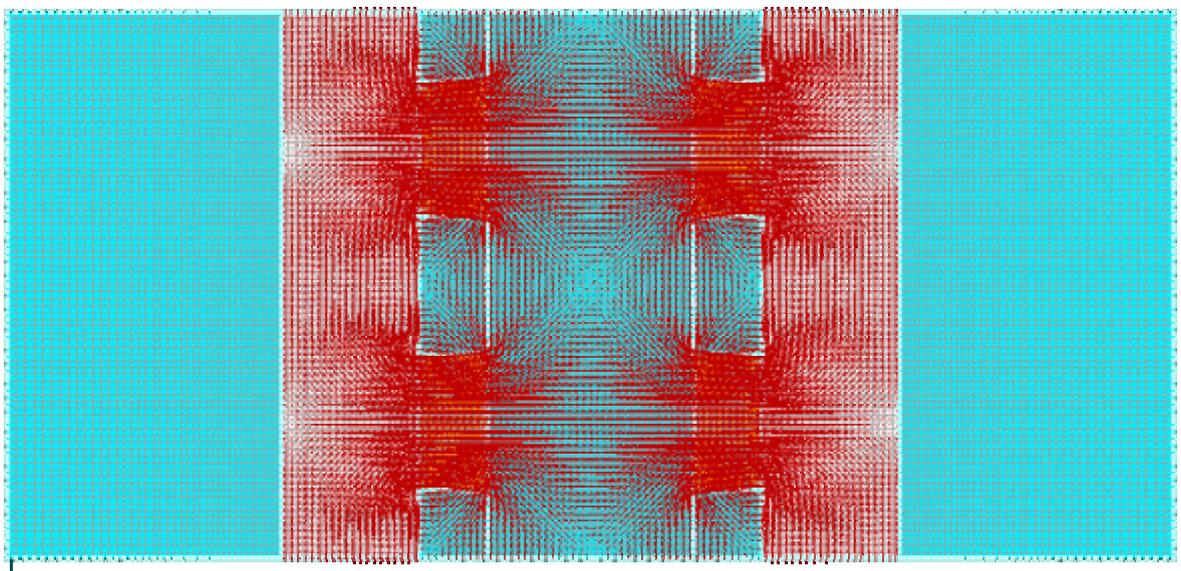
v1
11
U1



Output Set 1 TIME = 00:000:00
2DContour/Vec DX

L=15C

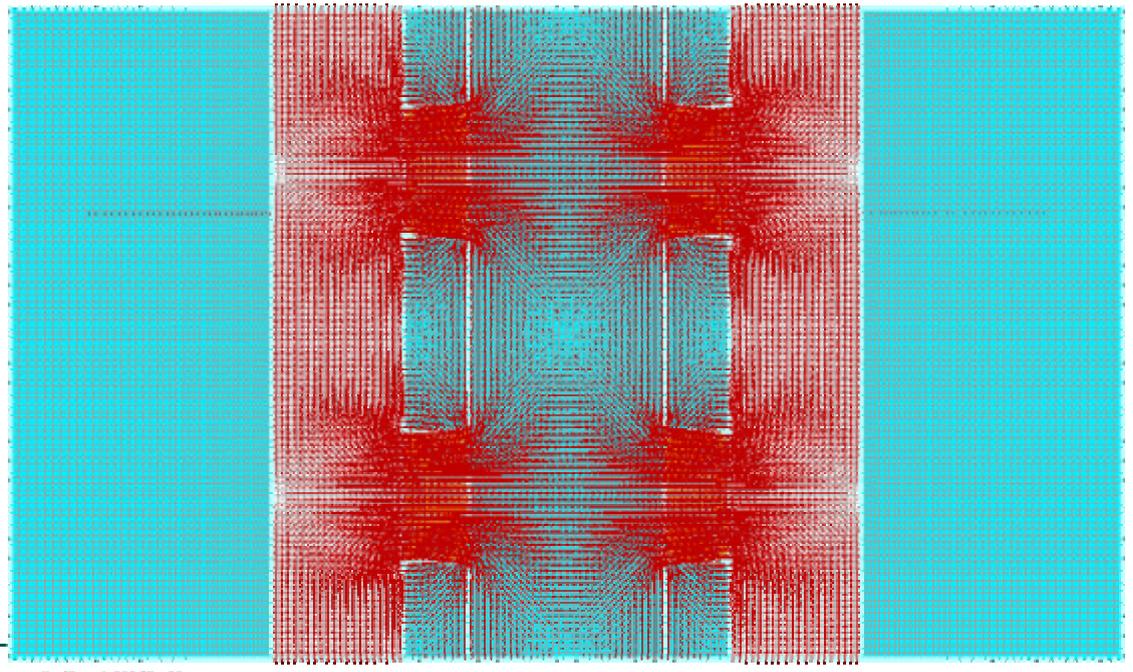
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = : 00300 : 00
3DContour/Vec 0

L=15D

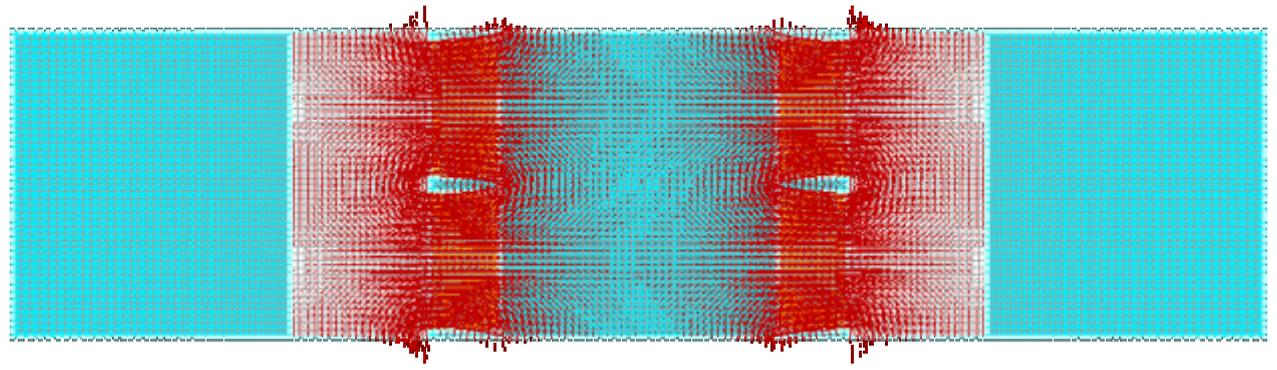
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = : 00300 : 00
3DContour/Vec 0

L=20A

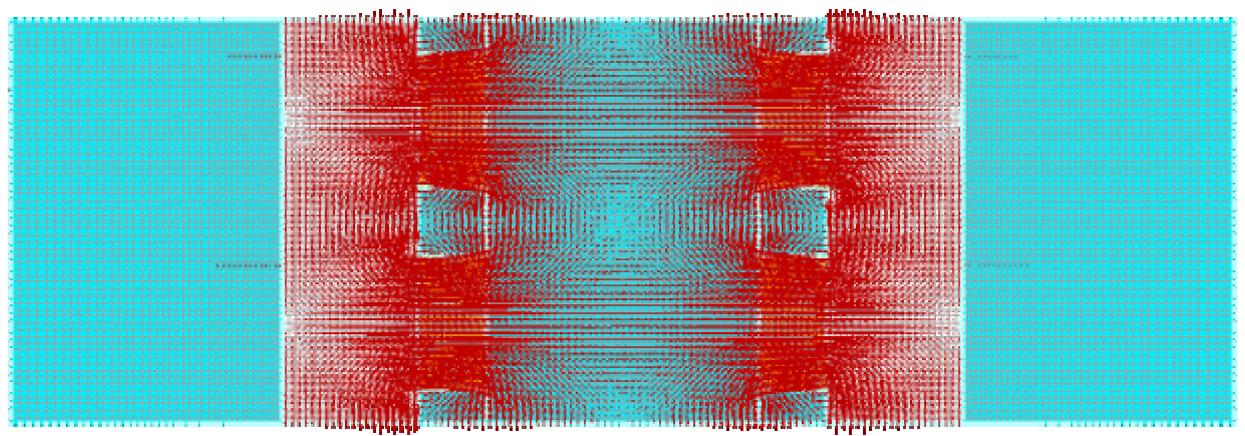
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-Contour/Vec On

L=20B

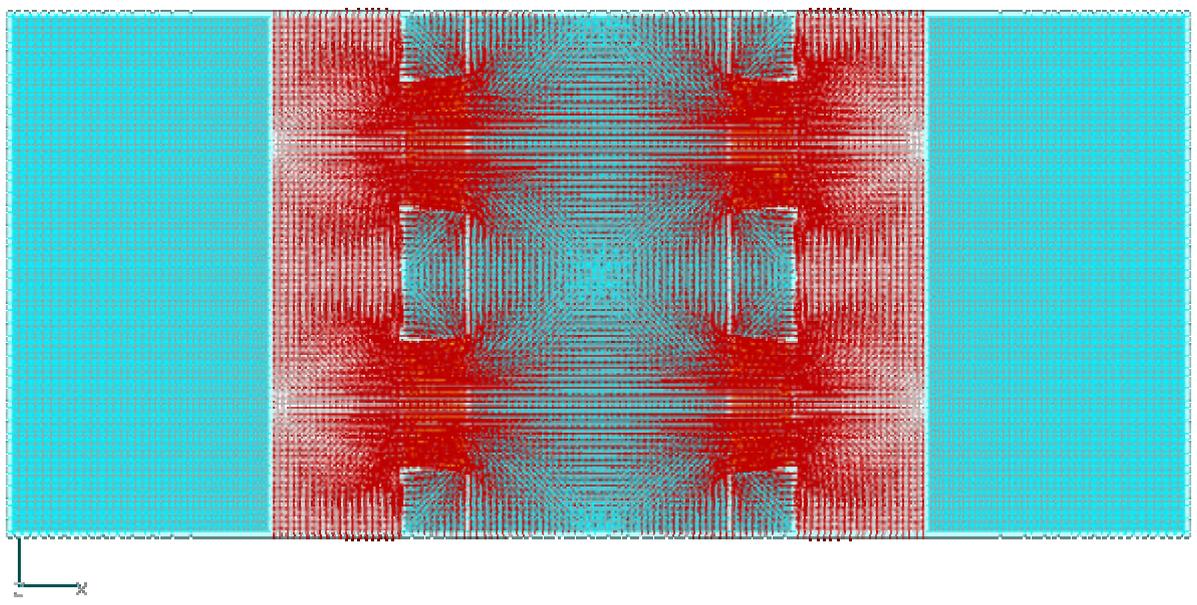
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-Contour/Vec On

L=20C

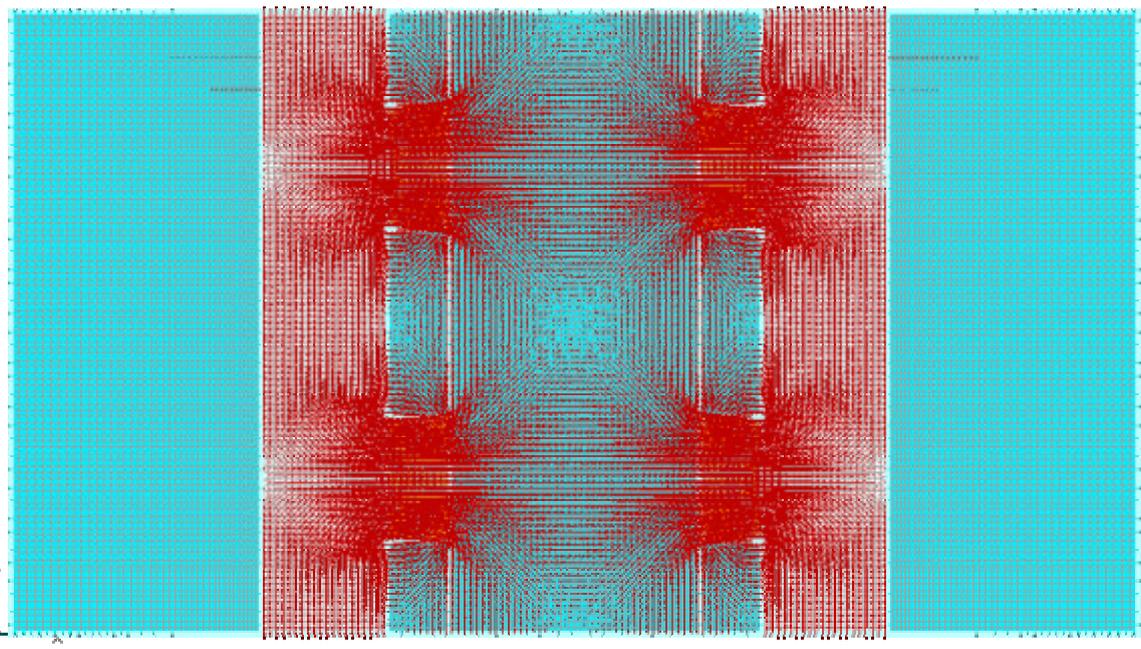
v
||
L'



Cuipr Sci 1 TIME = : 00000 : 00
3DConcurVec 0

L=20D

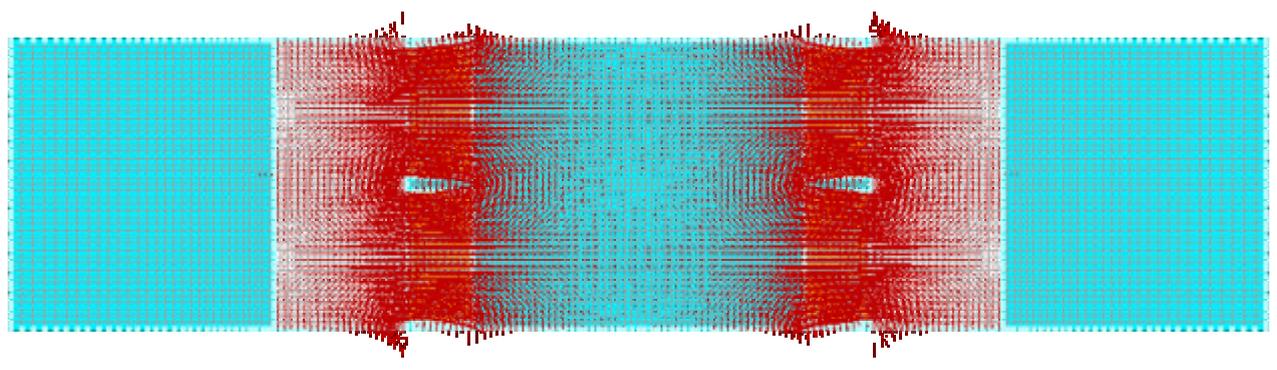
v
||
L'



Cuipr Sci 1 TIME = : 00000 : 00
3DConcurVec 0

L=25A

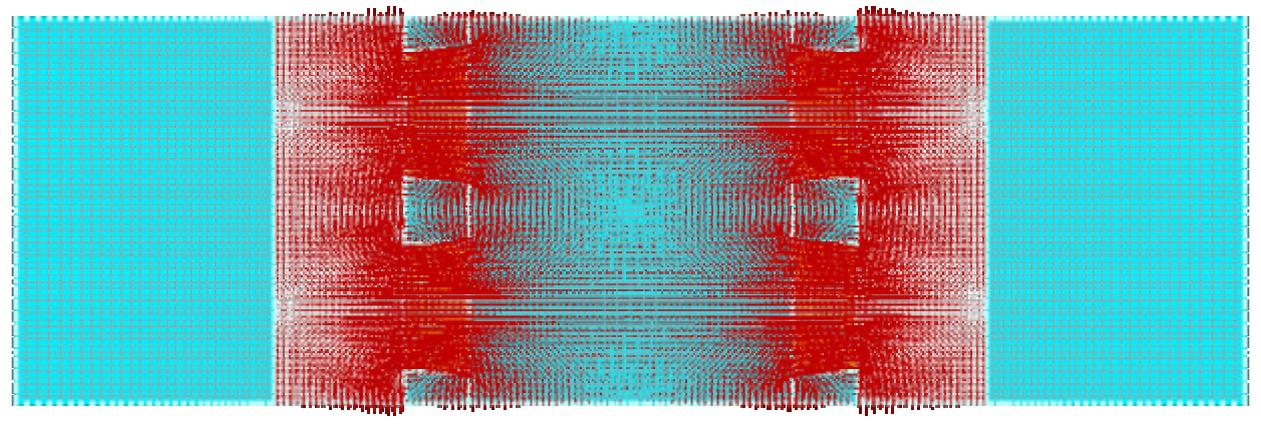
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-ConcurVec 0

L=25B

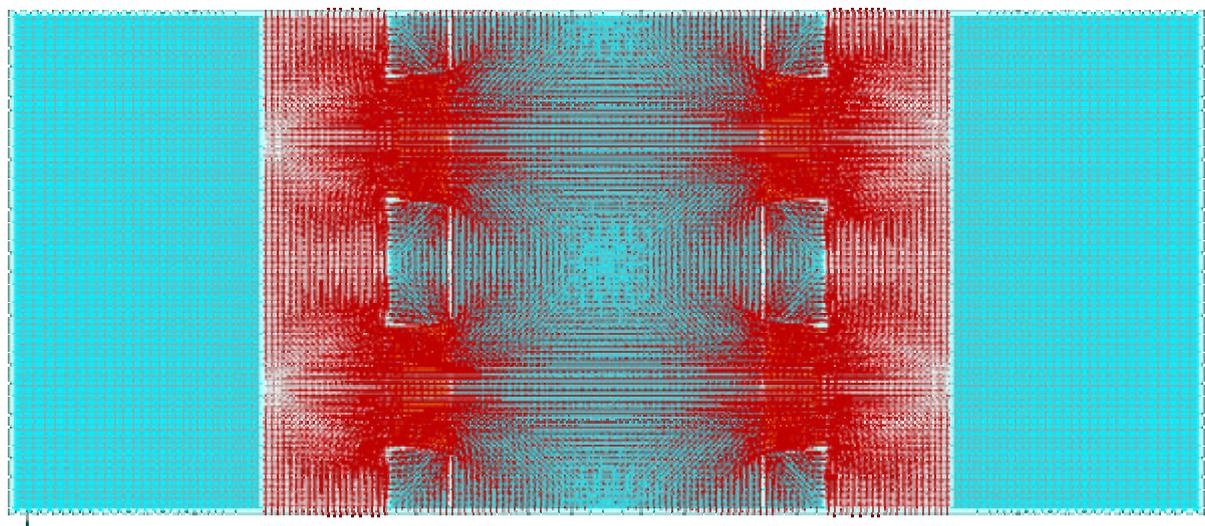
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-ConcurVec 0

L=25C

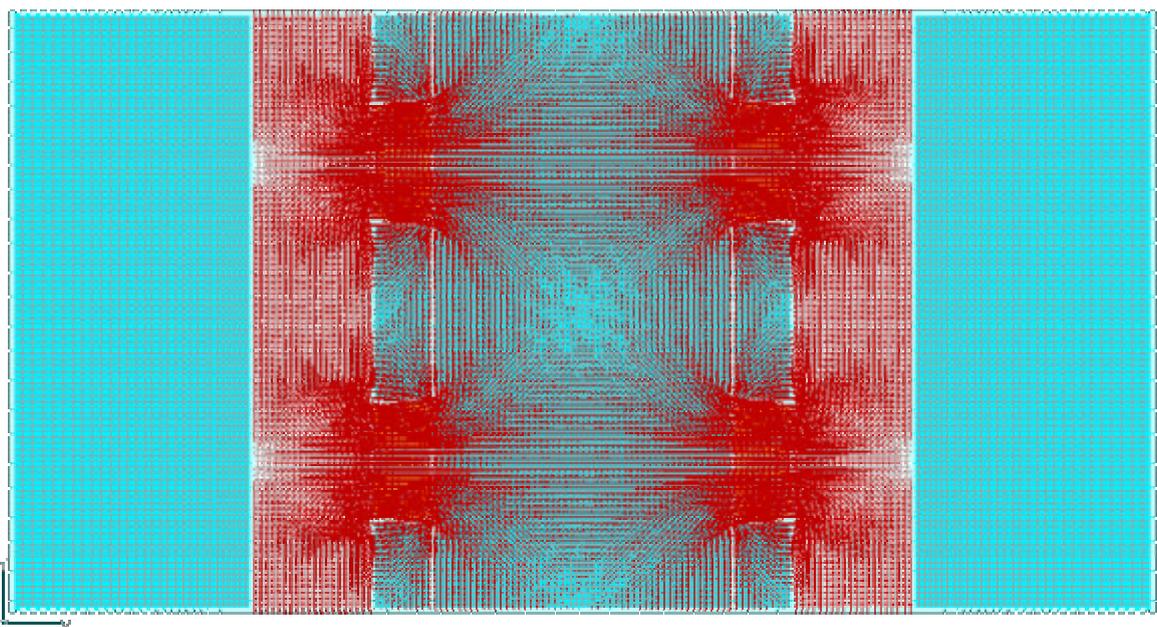
v
||
L'



Cuipr Sci 1 TIME = : 00300 : 00
3DContourVec 0

L=25D

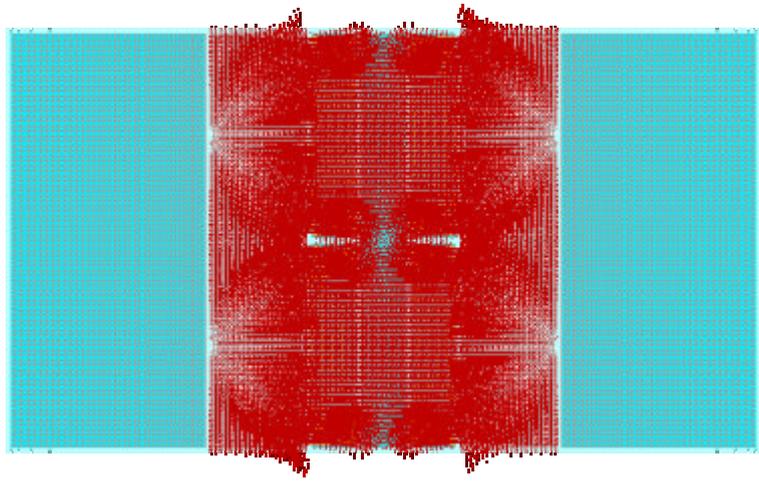
v
||
L'



Cuipr Sci 1 TIME = : 00300 : 00
3DContourVec 0

L=05 2A

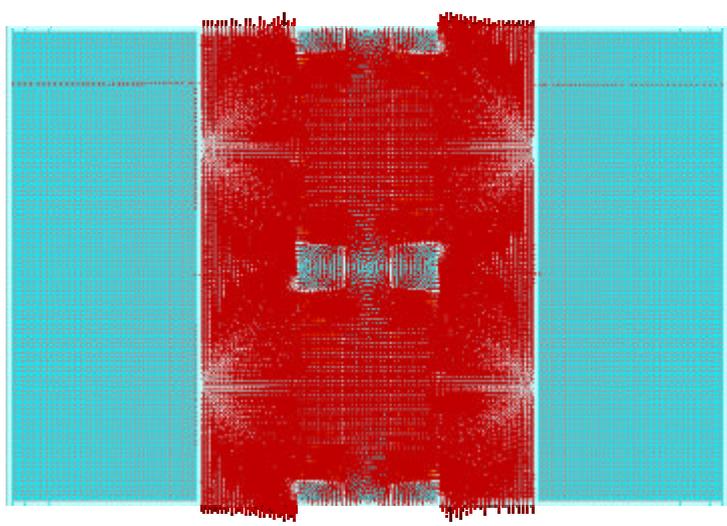
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVec D

L=05 2B

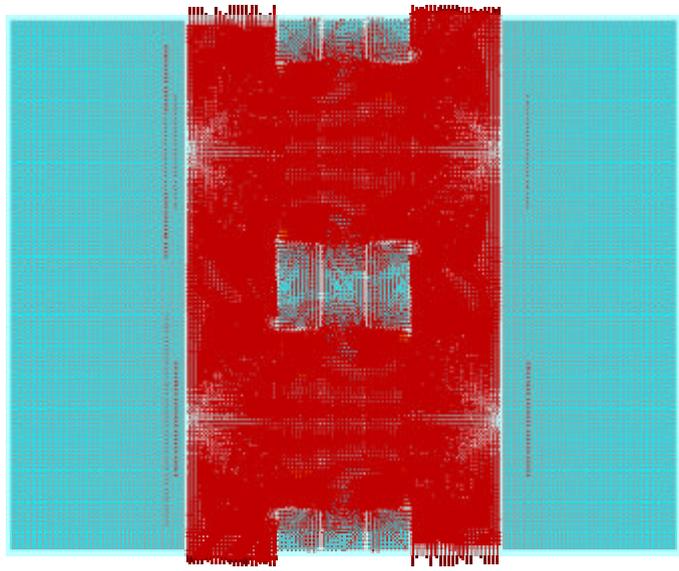
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVec D

L=05 2C

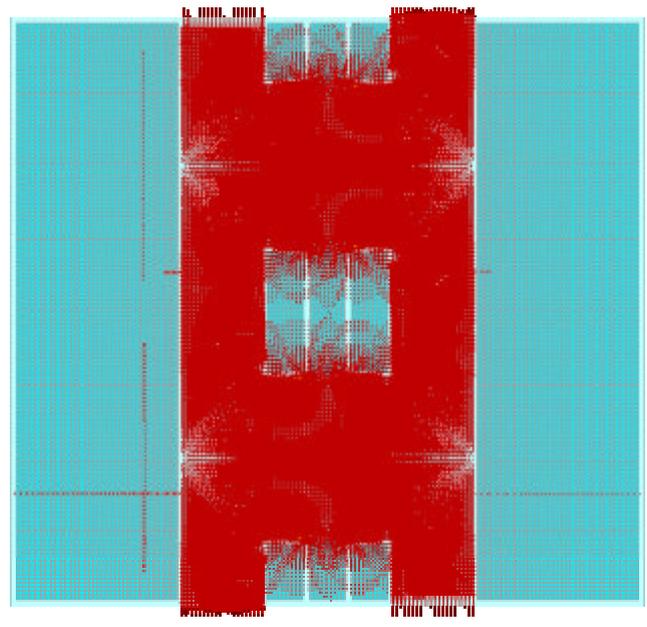
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVec 0

L=05 2D

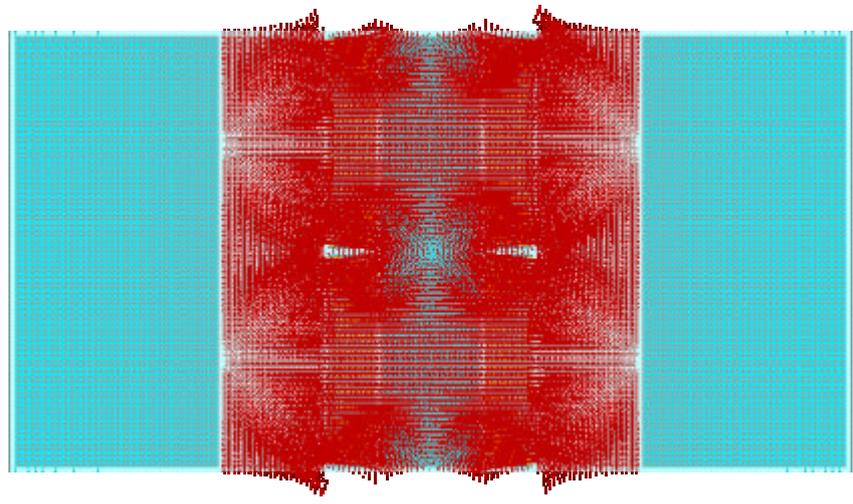
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVec 0

L=10 2A

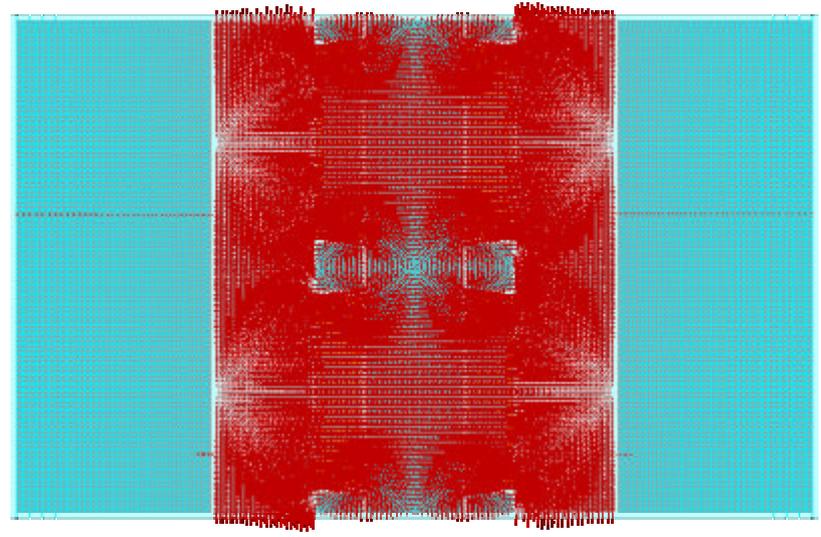
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConicElem Dx

L=10 2B

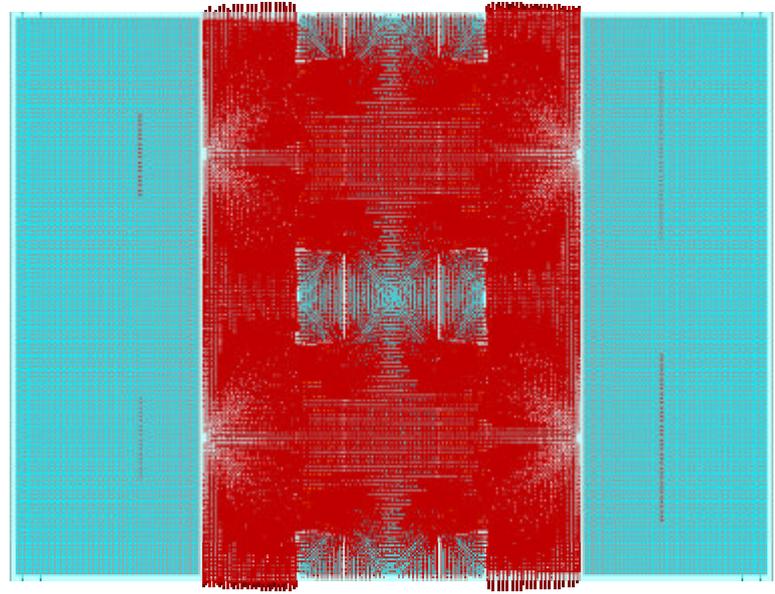
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConicElem Dx

L=10 2C

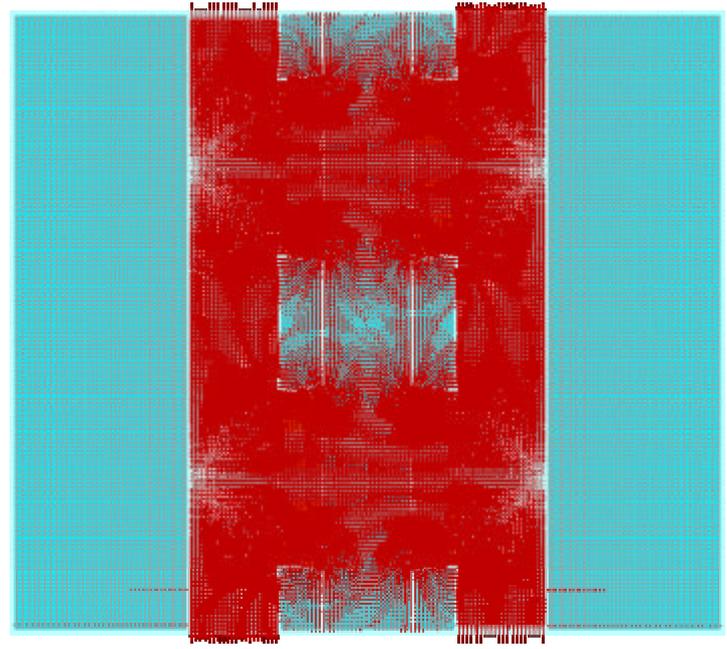
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConic2Vec DX

L=10 2D

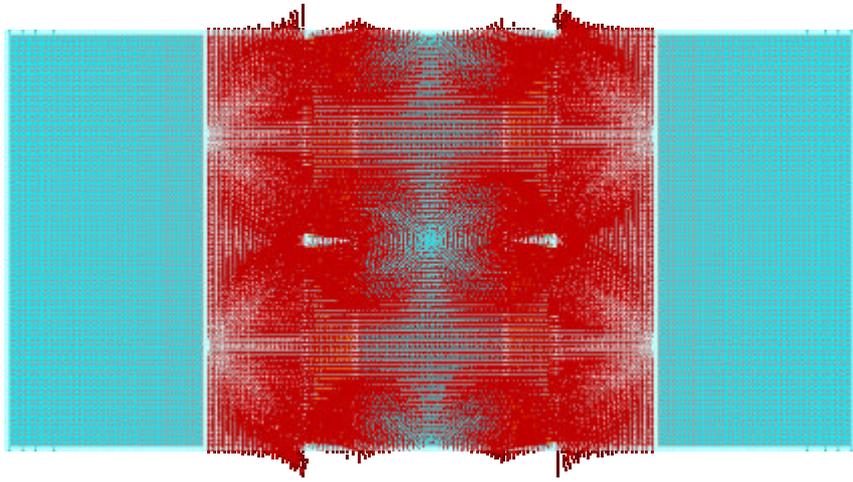
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConic2Vec DX

L=15 2A

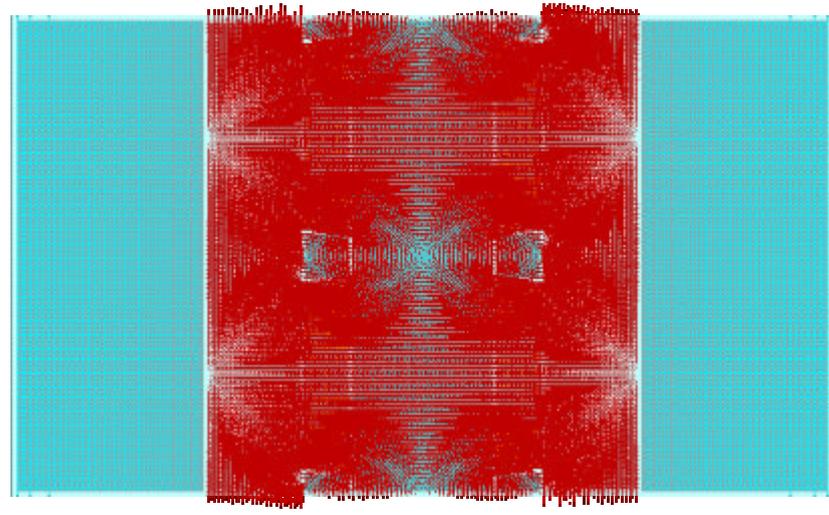
v
||
L



Obj: Sol 1 TIME = 1.00000E+00
3DConnVec: On

L=15 2B

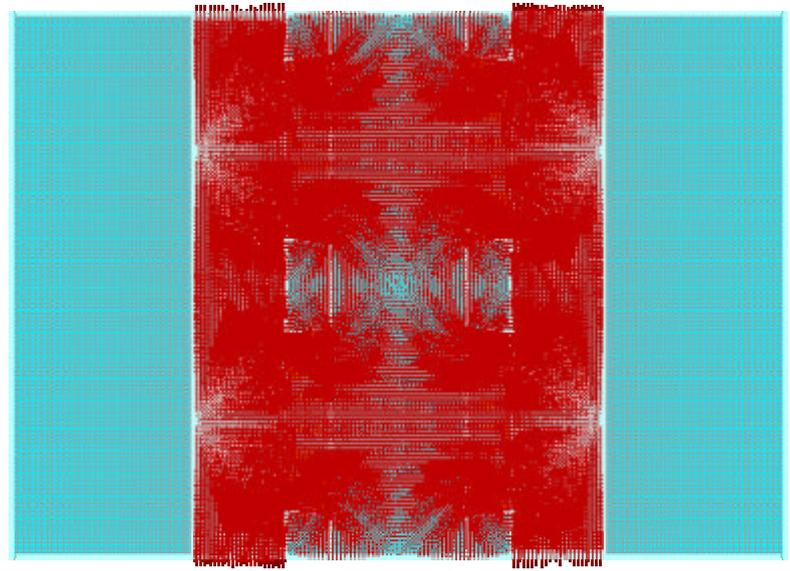
v
||
L



Obj: Sol 1 TIME = 1.00000E+00
3DConnVec: On

L=15 2C

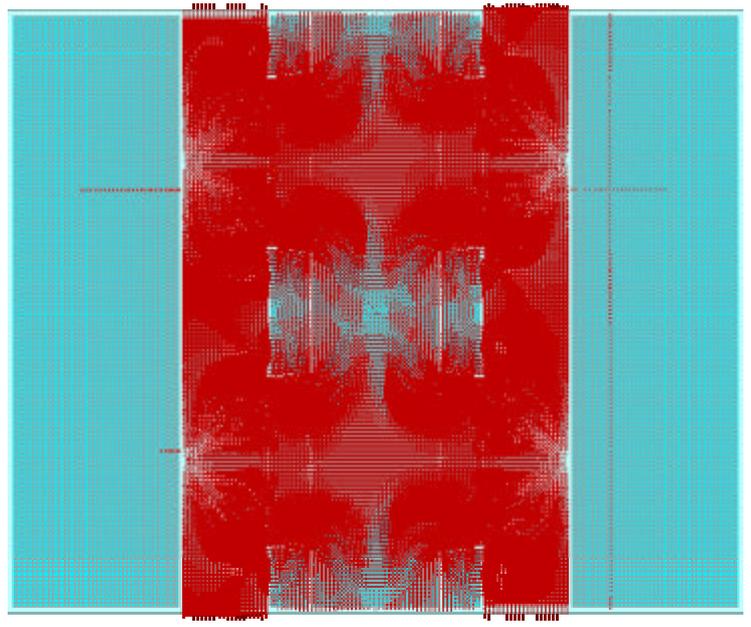
v
||
L



Contour Set 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=15 2D

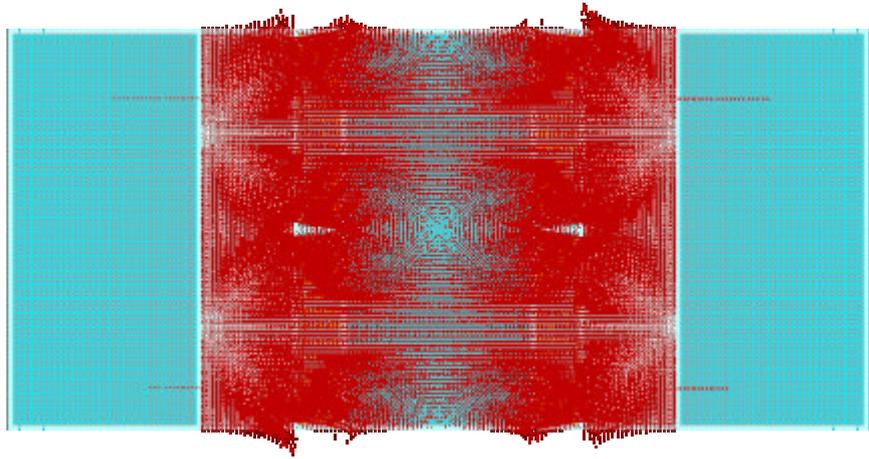
v
||
L



Contour Set 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=20 2A

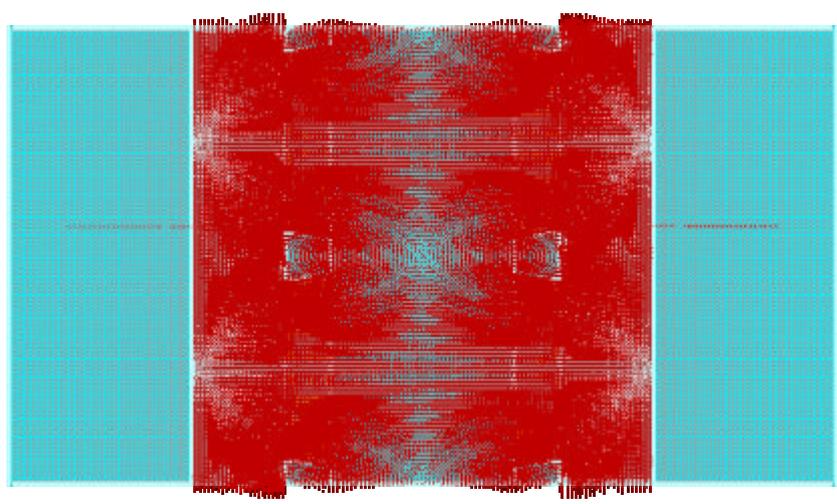
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-ConcurVec 0

L=20 2B

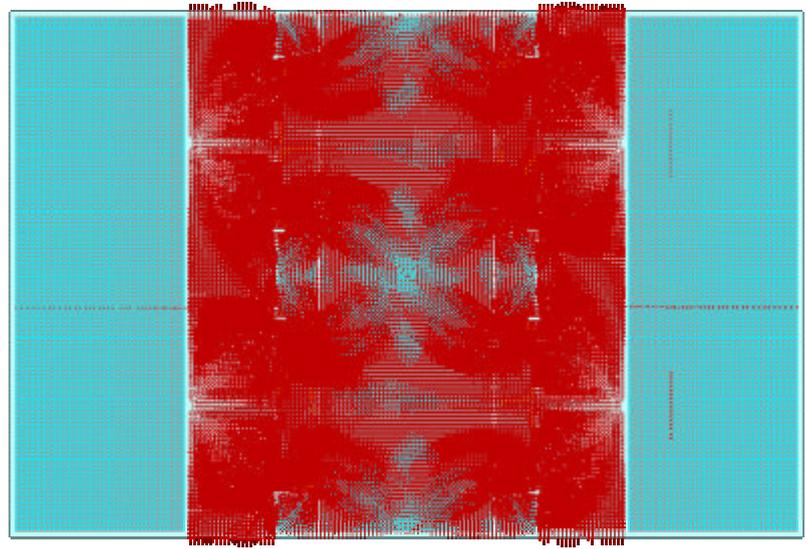
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-ConcurVec 0

L=20 2C

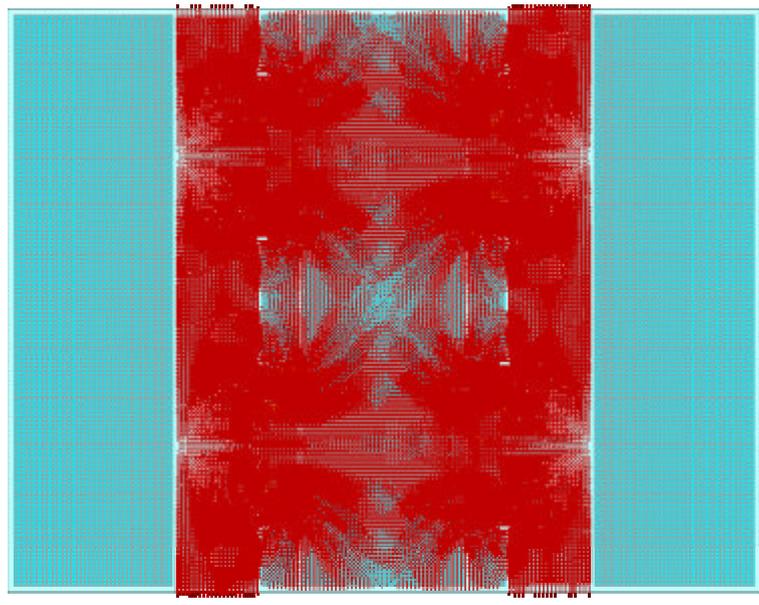
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
2DContour/Vec D

L=20 2D

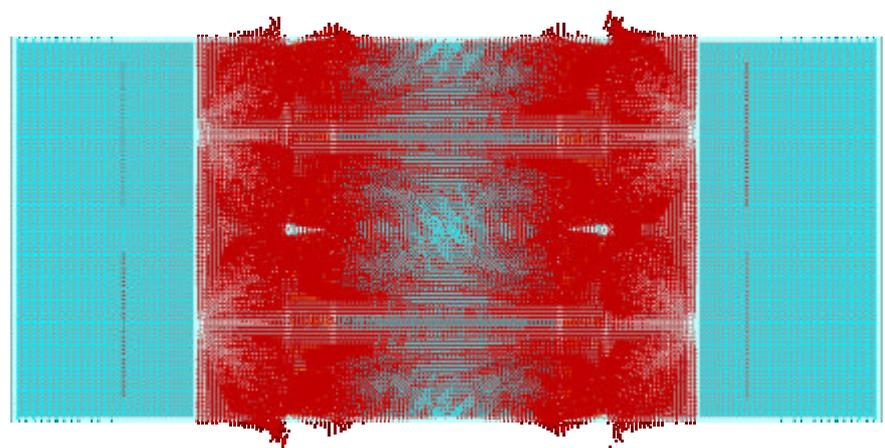
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
2DContour/Vec D

L=25 2A

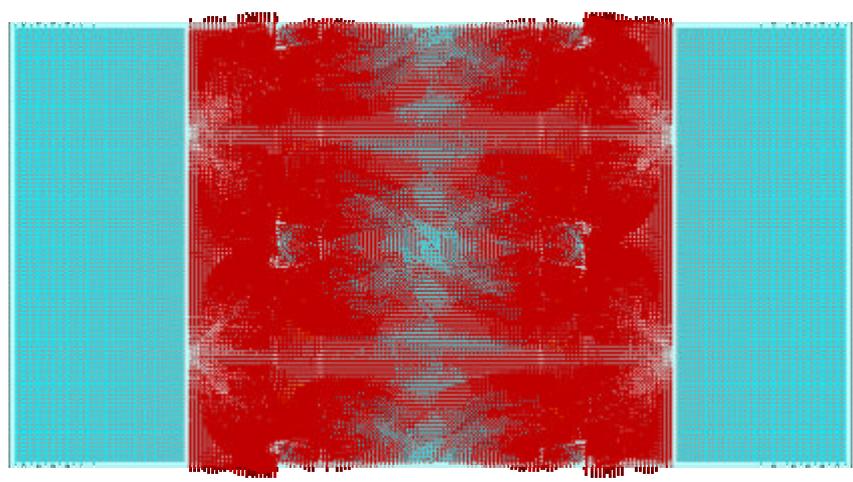
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-ConcurVec 0

L=25 2B

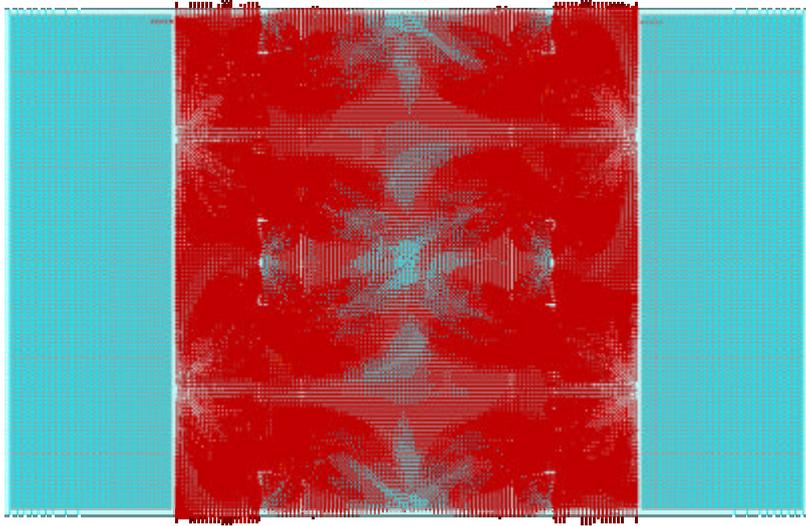
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3D-ConcurVec 0

L=25 2C

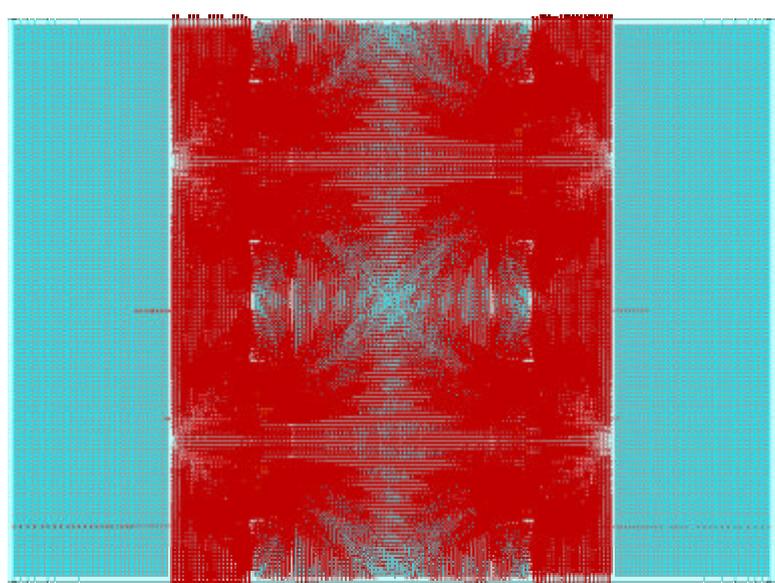
v
||
L



Contour Set 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=25 2D

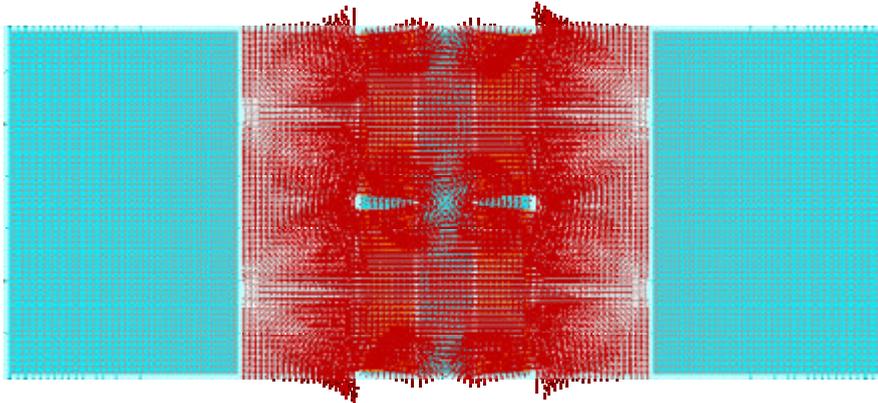
v
||
L



Contour Set 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=05 b

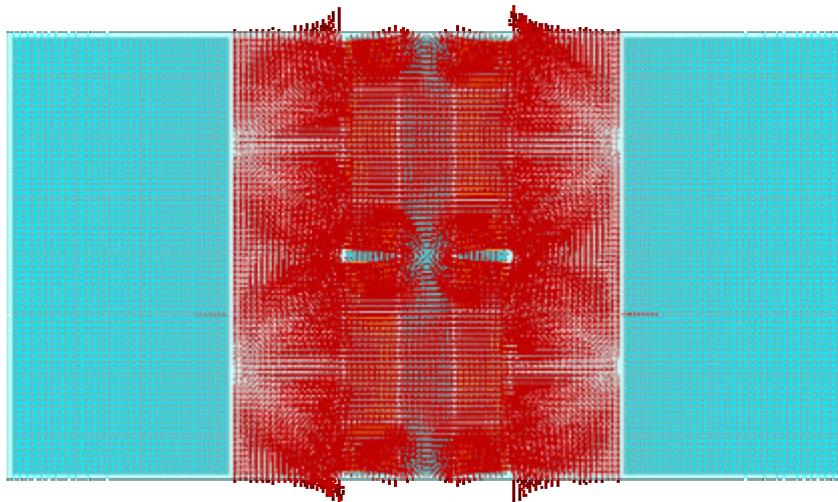
v'
||
L'



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVecs 0

L=05 c

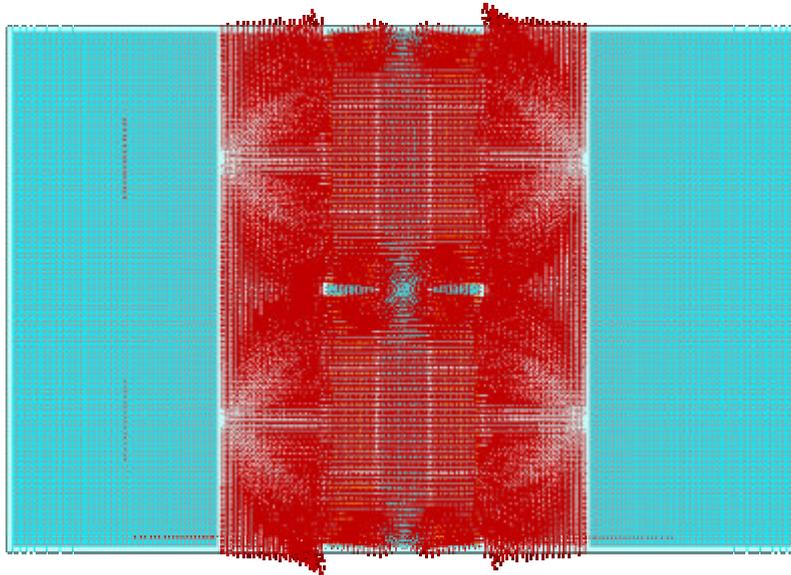
v'
||
L'



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVecs 0

L=05 d

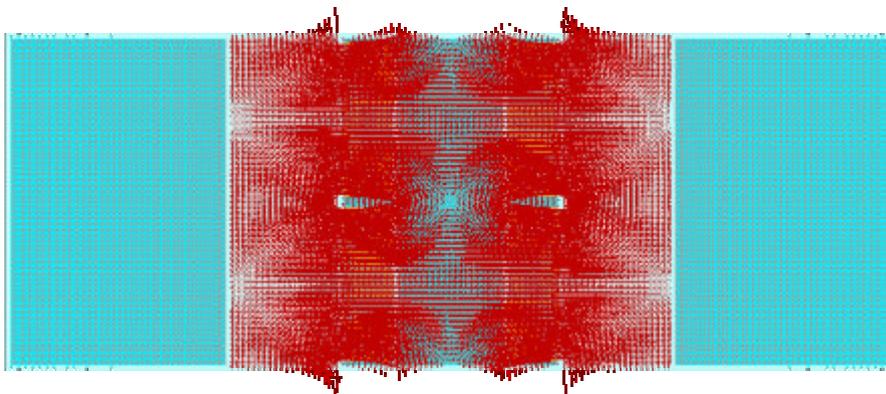
v
11
C



Cutplot Set: 1 TIME = 1.0000E+00
2DContourVec: 0*

L=10 b

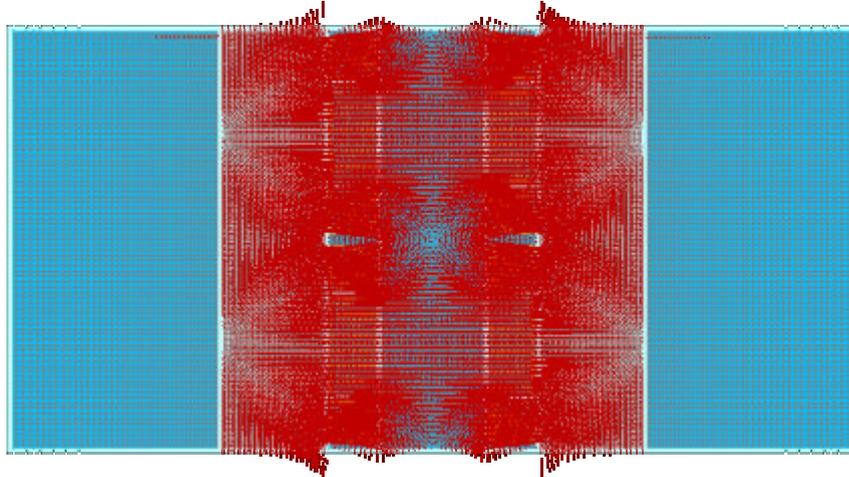
v
11
C



Cutplot Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DContourVec: 0*

L=10 c

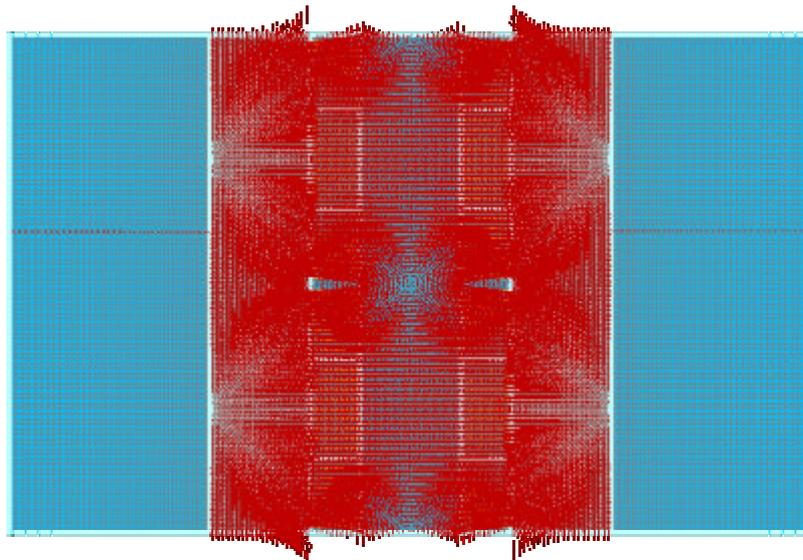
V
11
0.1



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConic2rNec D*

L=10 d

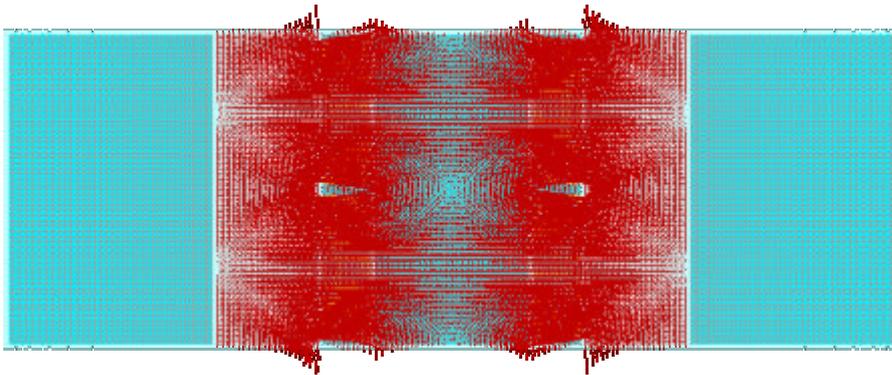
V
11
0.1



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
2DConic2rNec D*

L=15 b

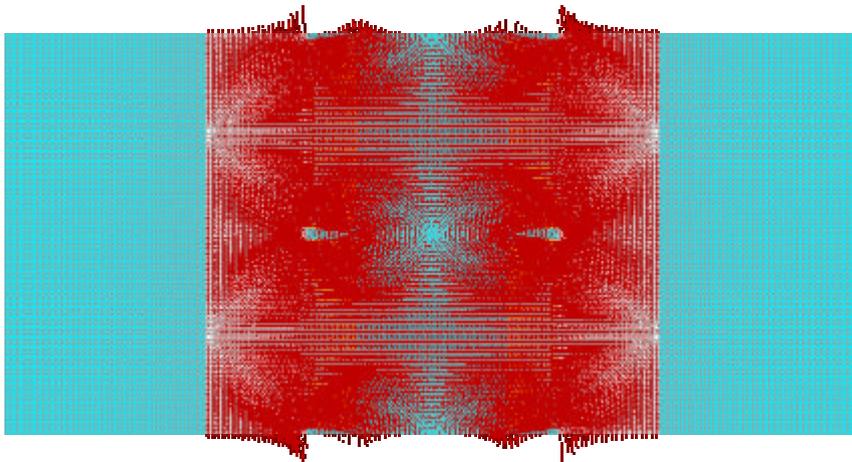
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContour/Vec 0

L=15 c

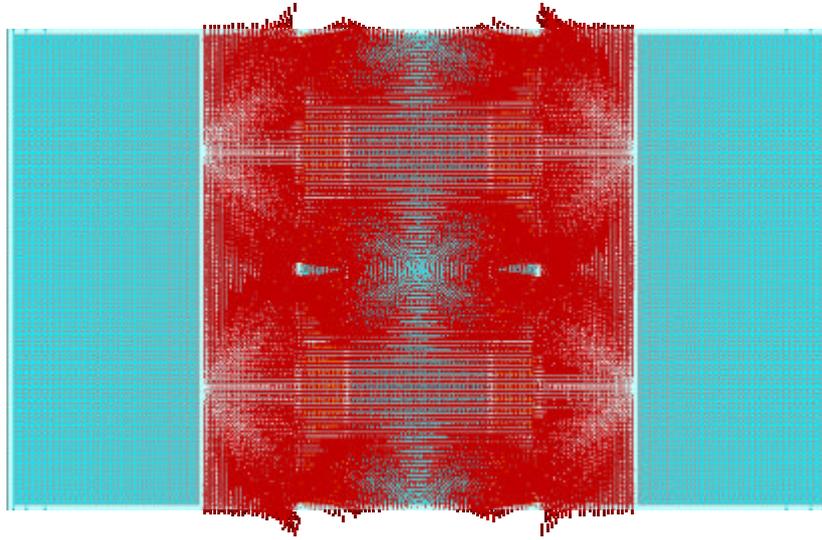
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContour/Vec 0

L=15 d

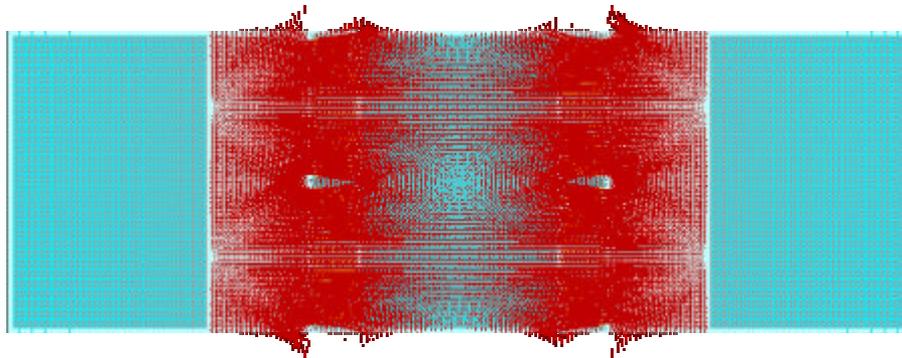
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVec 0

L=20 b

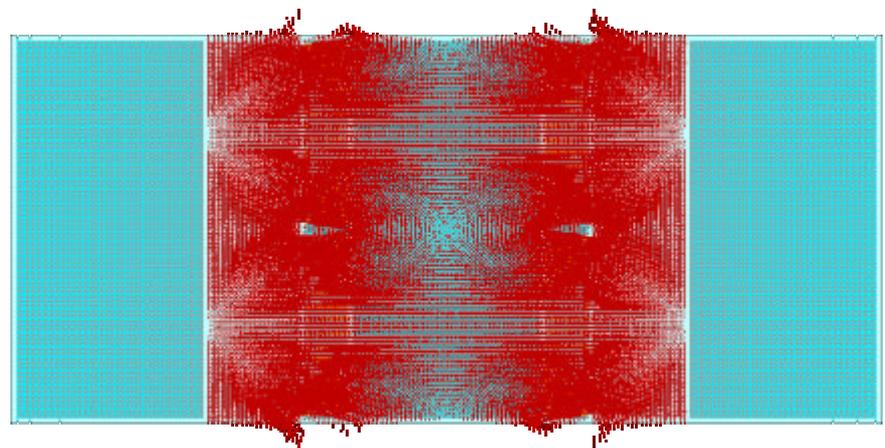
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DConnVec 0

L=20 c

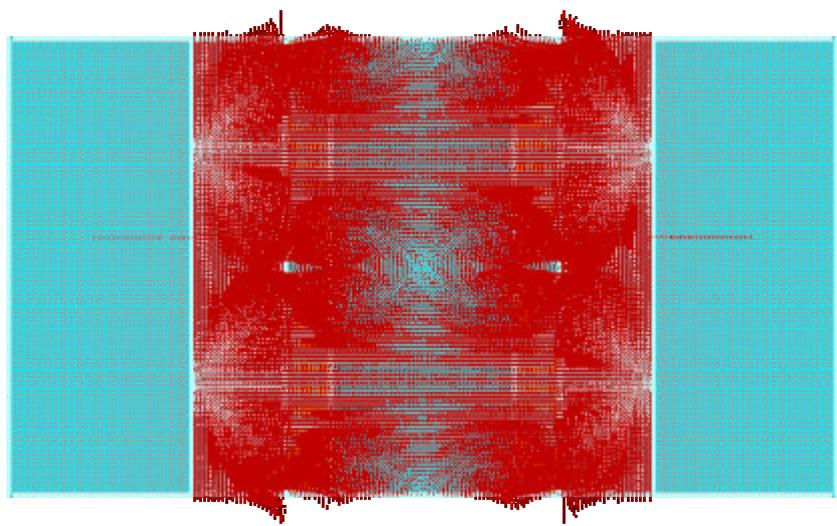
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContour/Vec 0

L=20 d

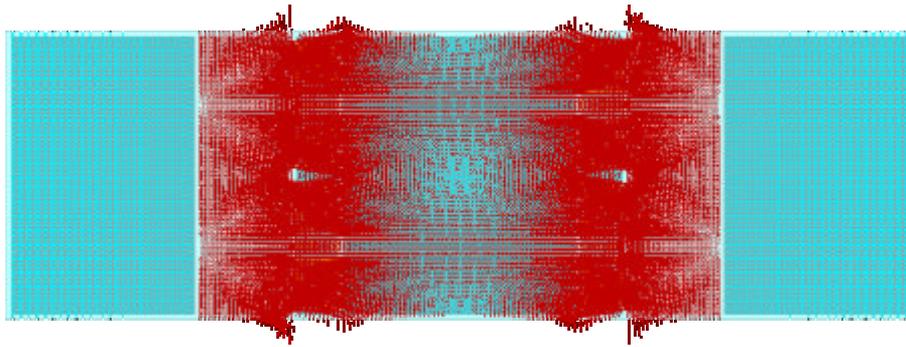
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContour/Vec 0

L=25 b

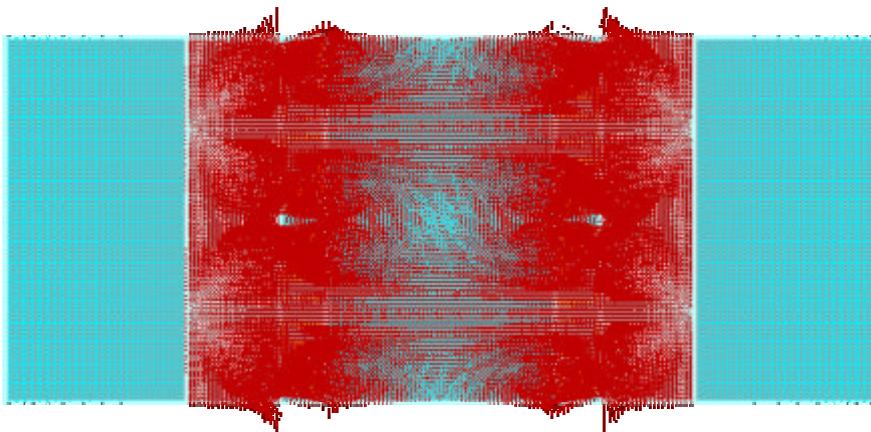
v'
||
L'



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=25 c

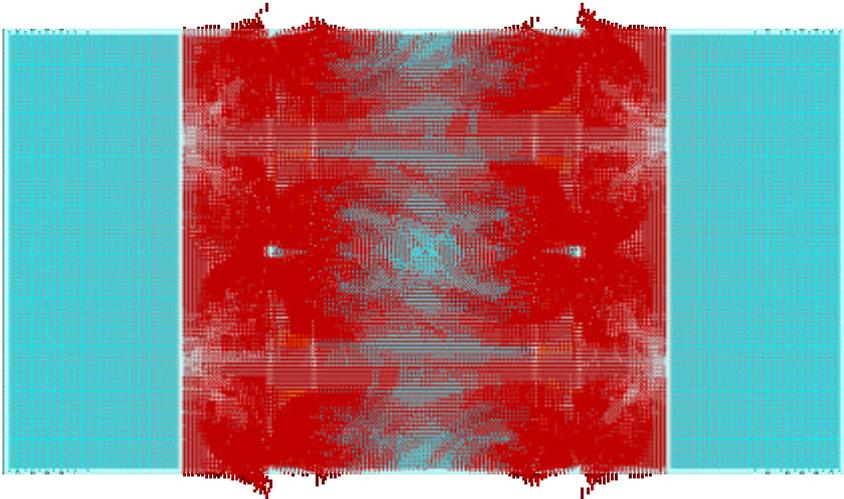
v'
||
L'



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
3DContourVec 0

L=25 d

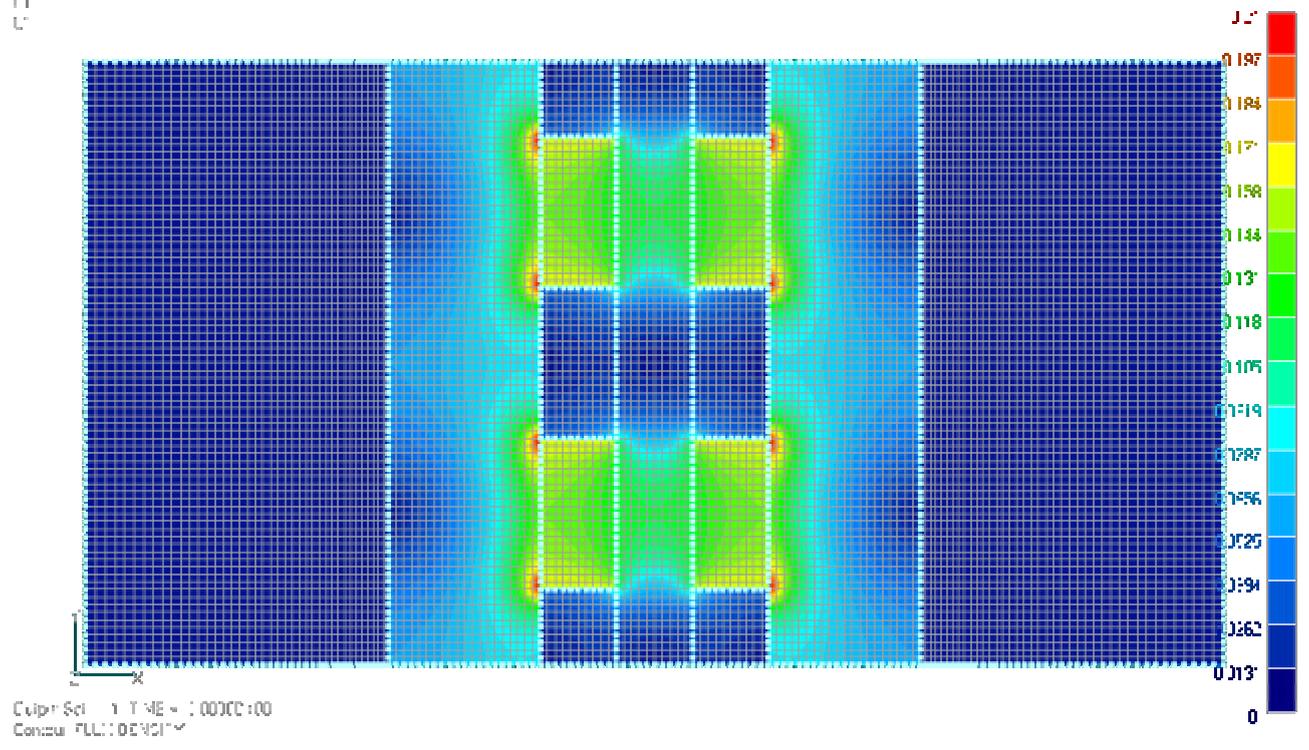
v
||
L



Clip: Set 1 T ME = : 0000:00
3D Contour/Vec On

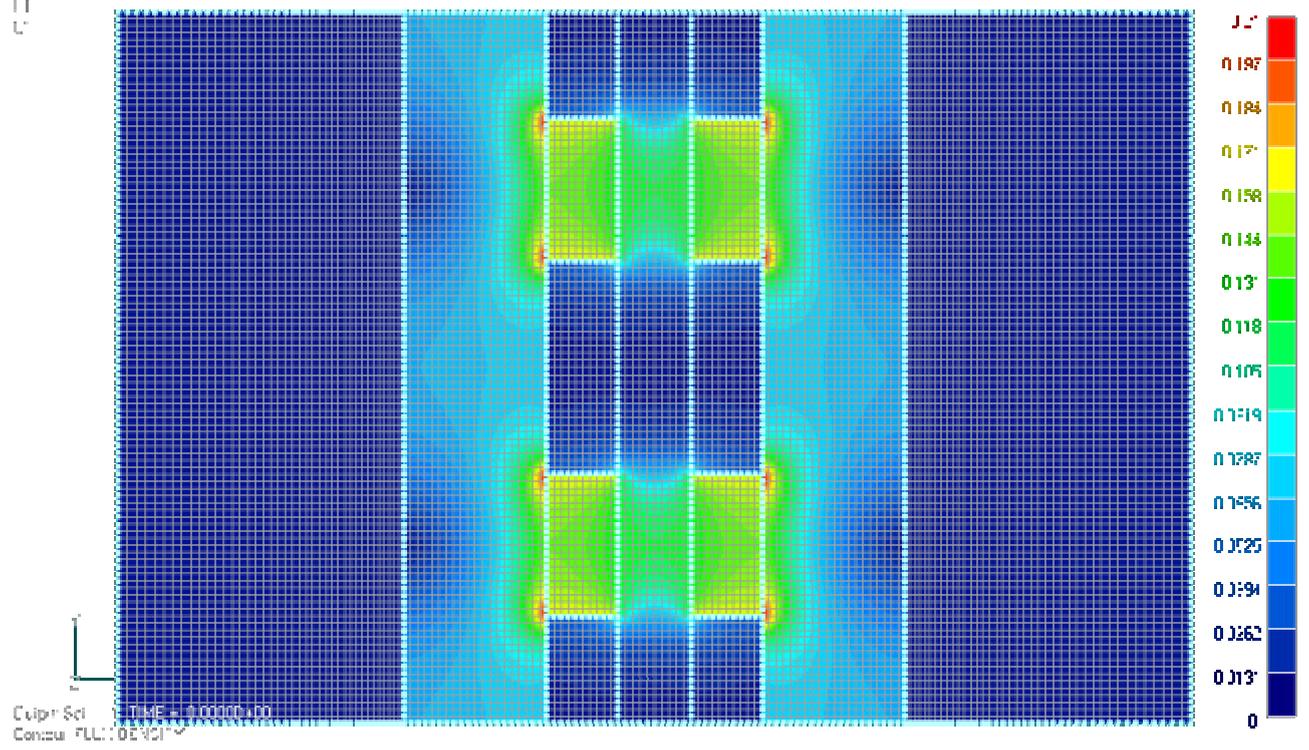
L=05 C

v
||
L



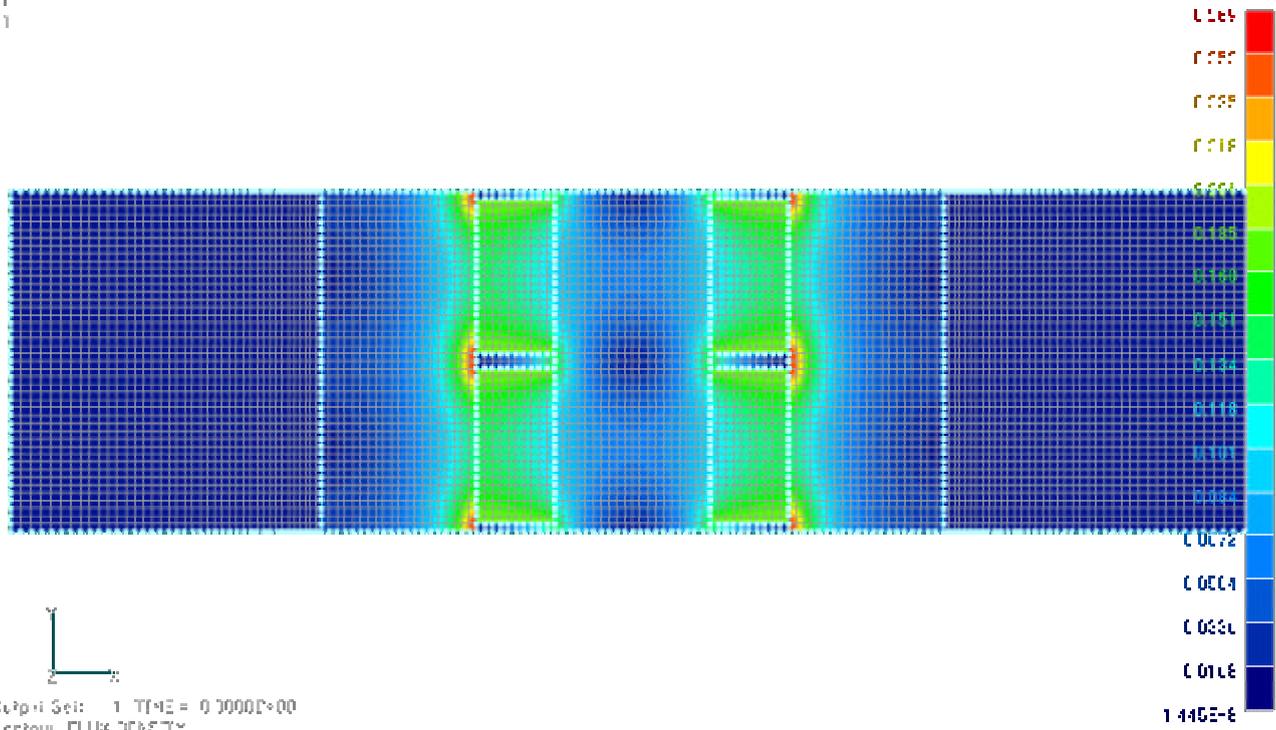
L=05 D

v
||
L



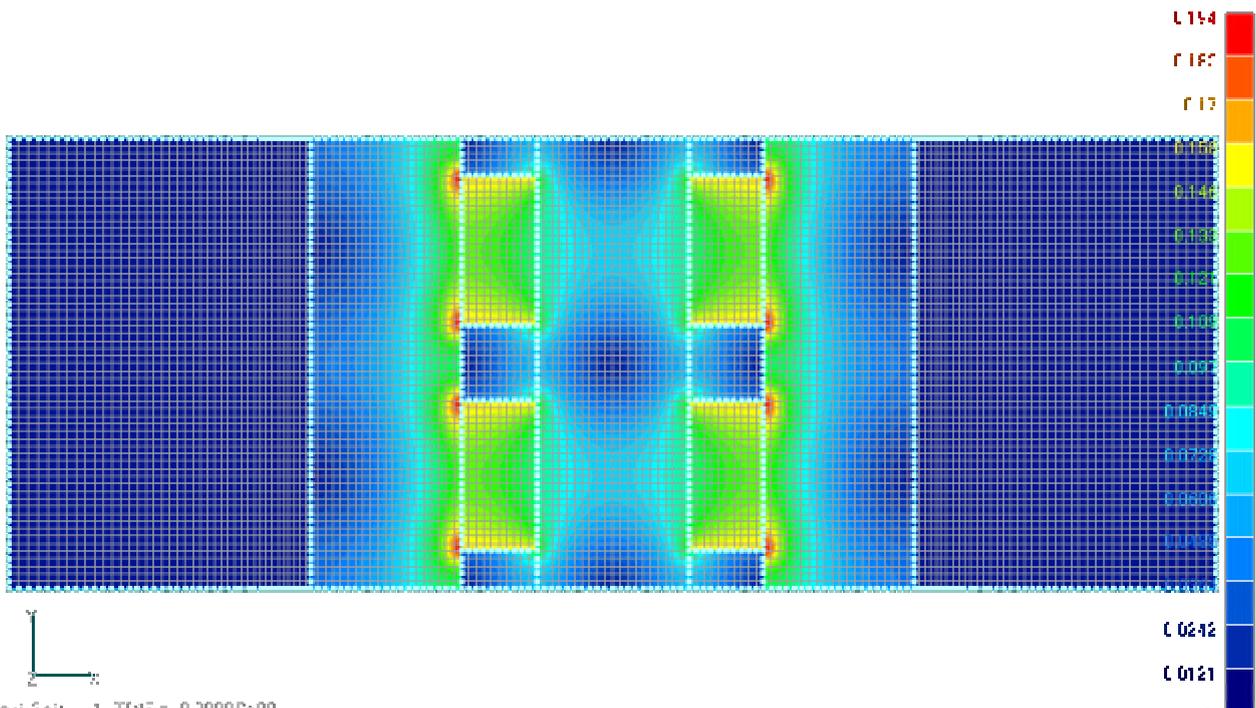
L=10 A

V
H
G



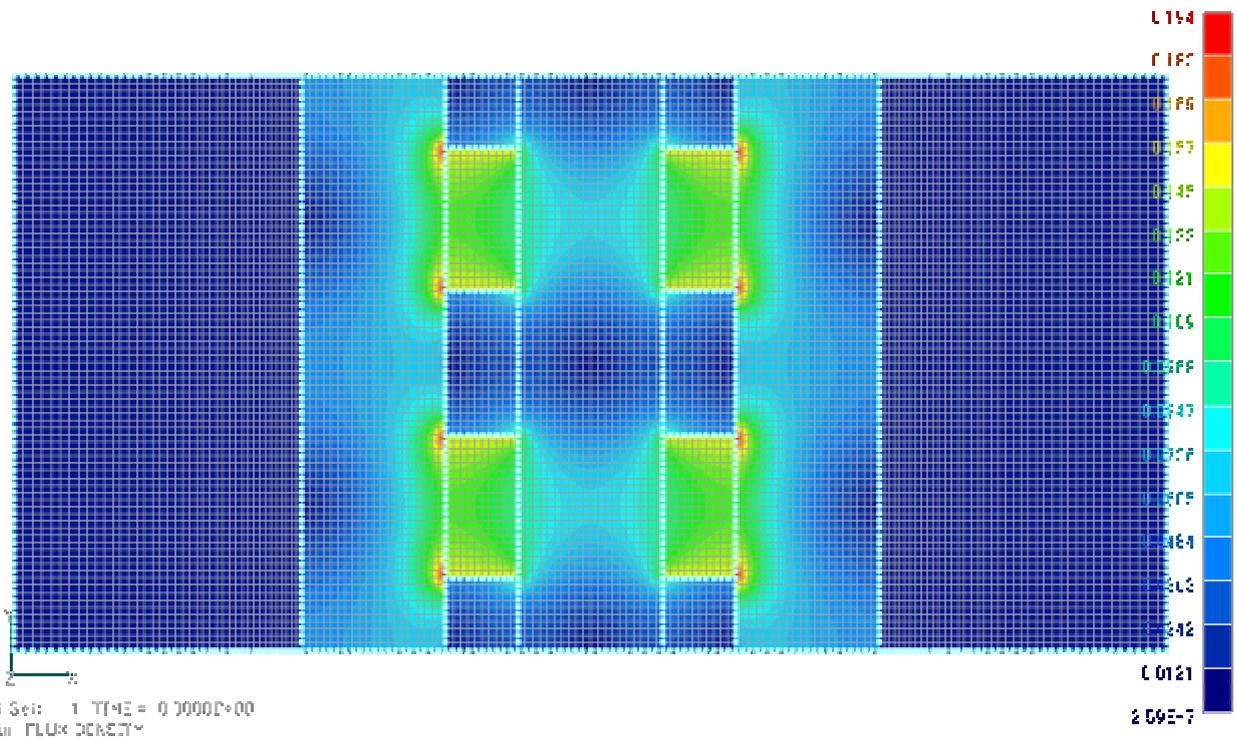
L=10 B

V
H
G



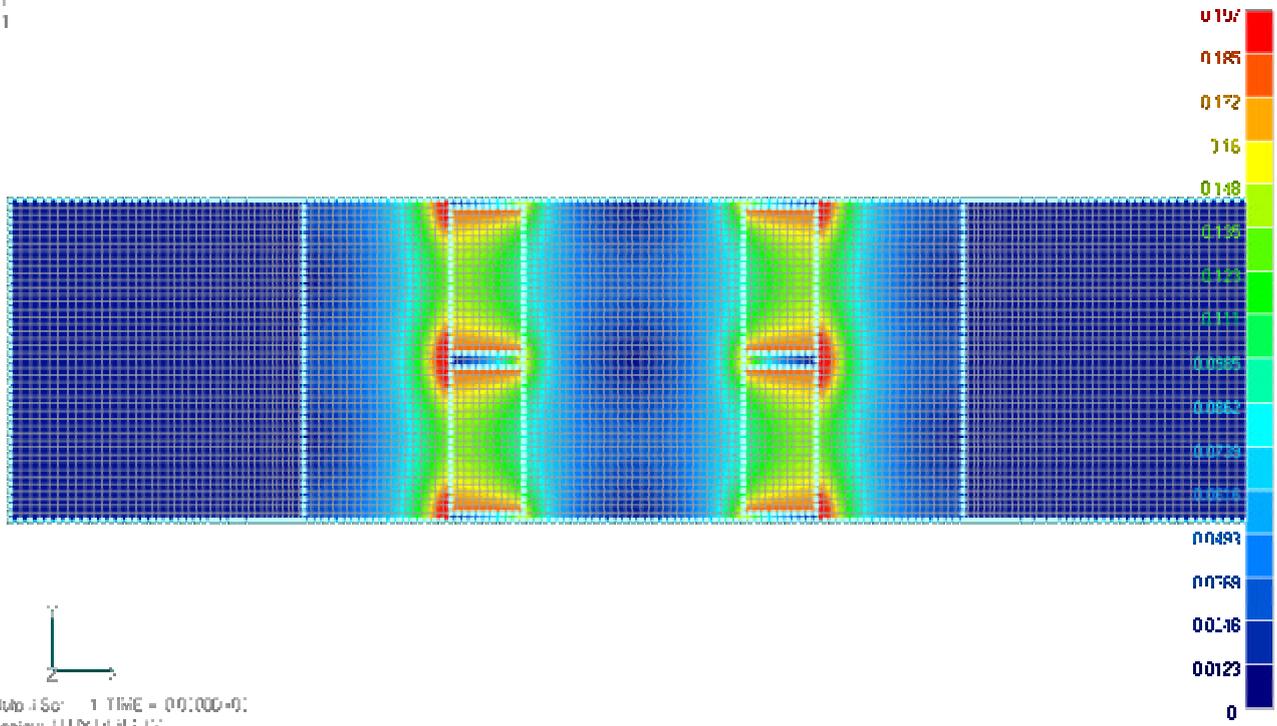
L=10 C

V
H
G



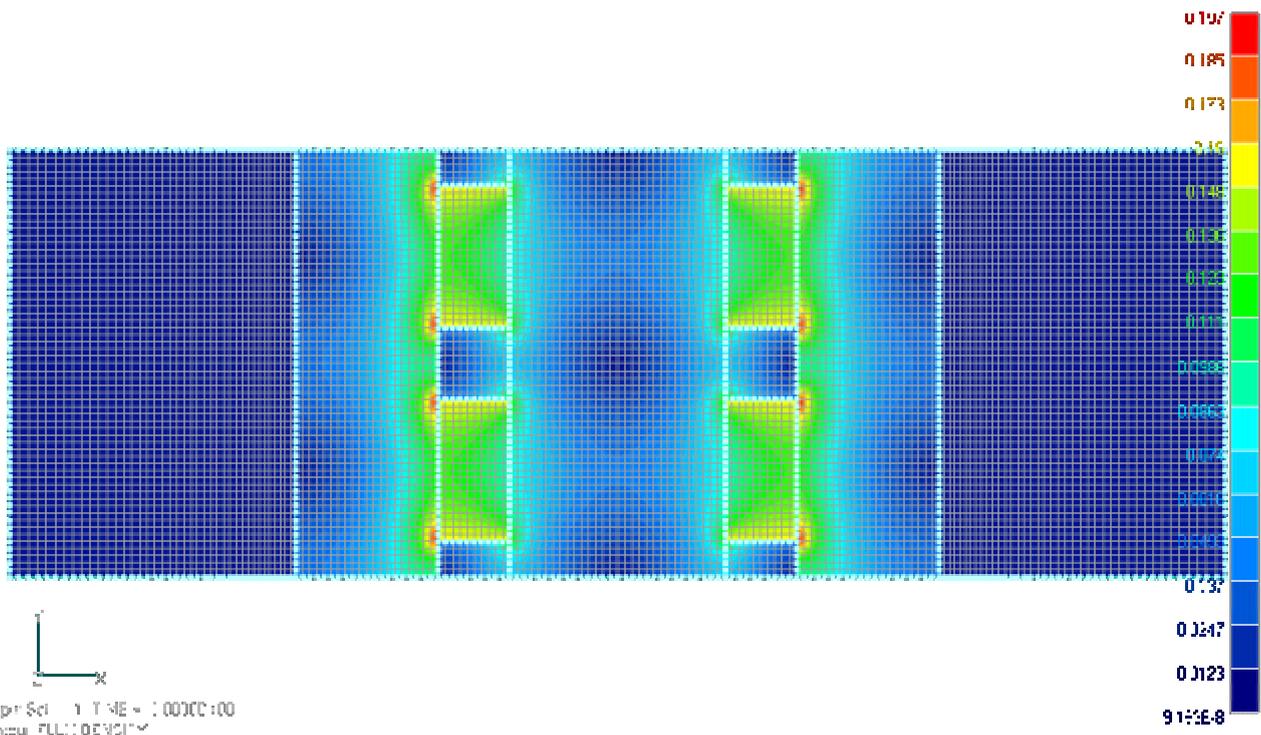
L=15A

v1
11
L1



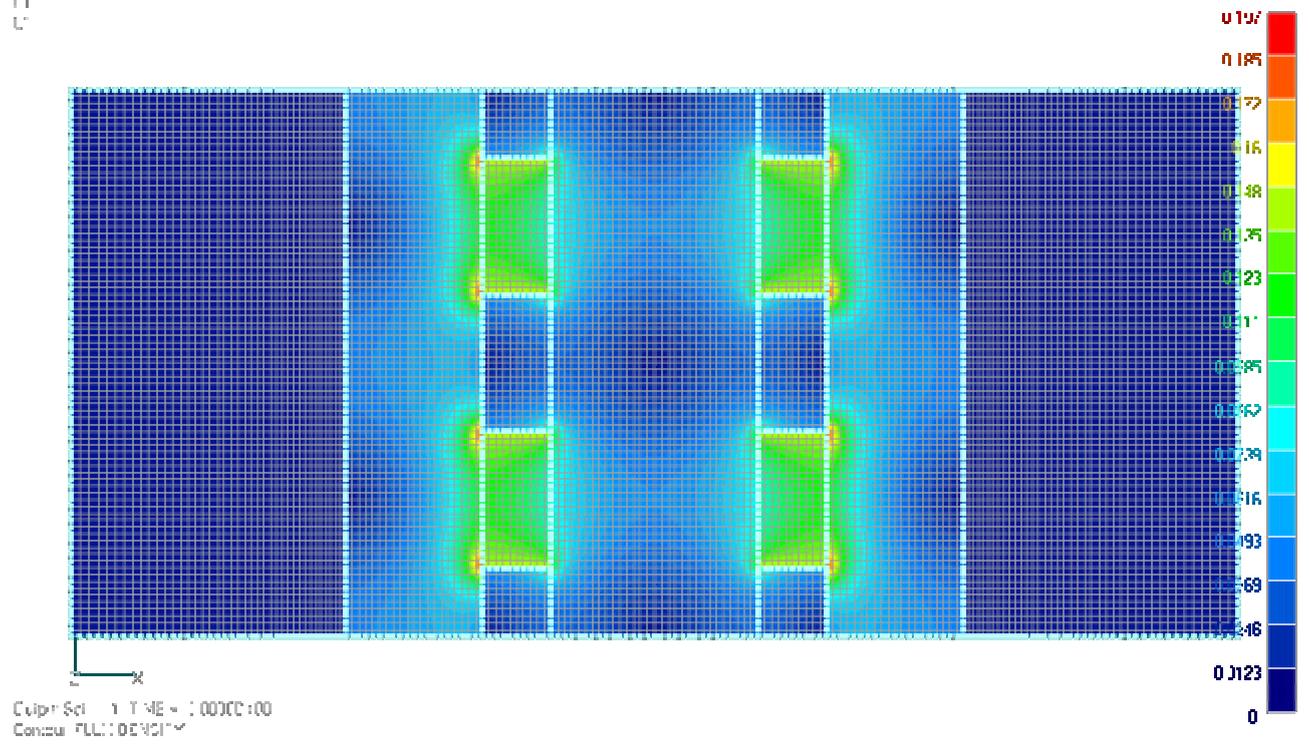
L=15B

v1
11
L1



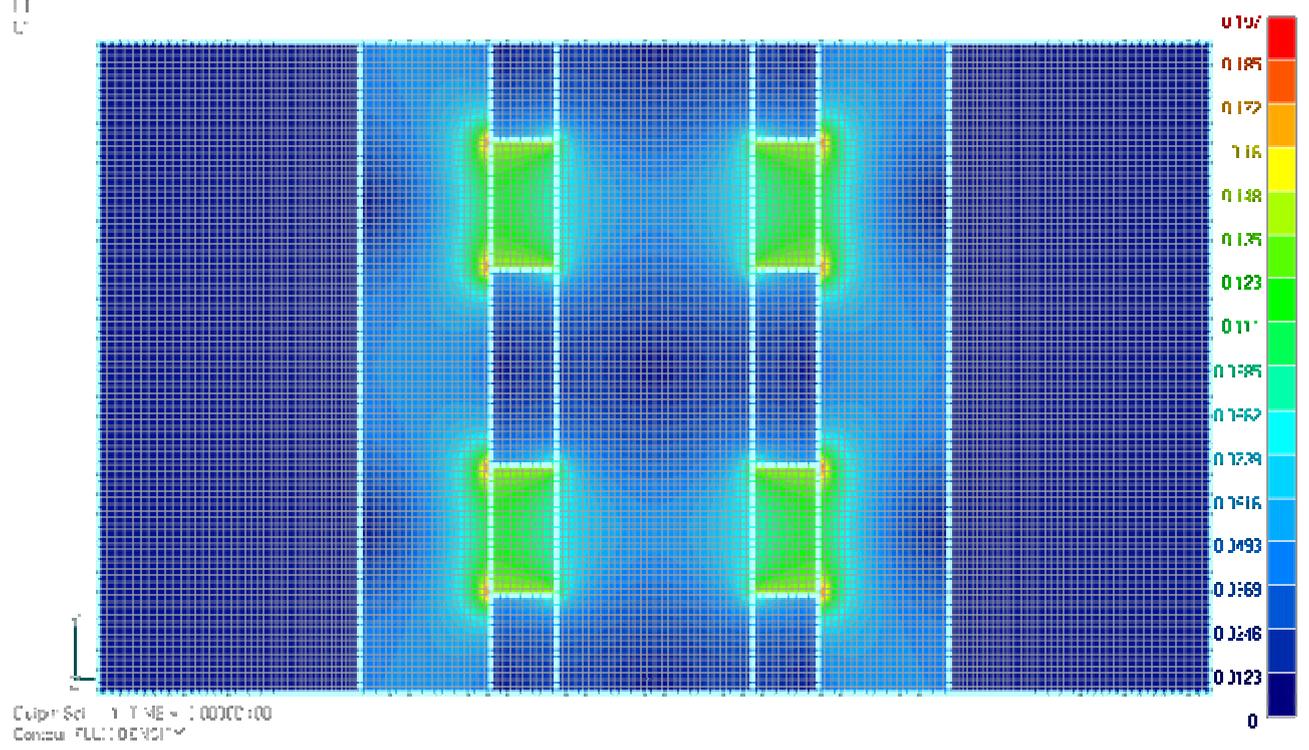
L=15C

v
||
L



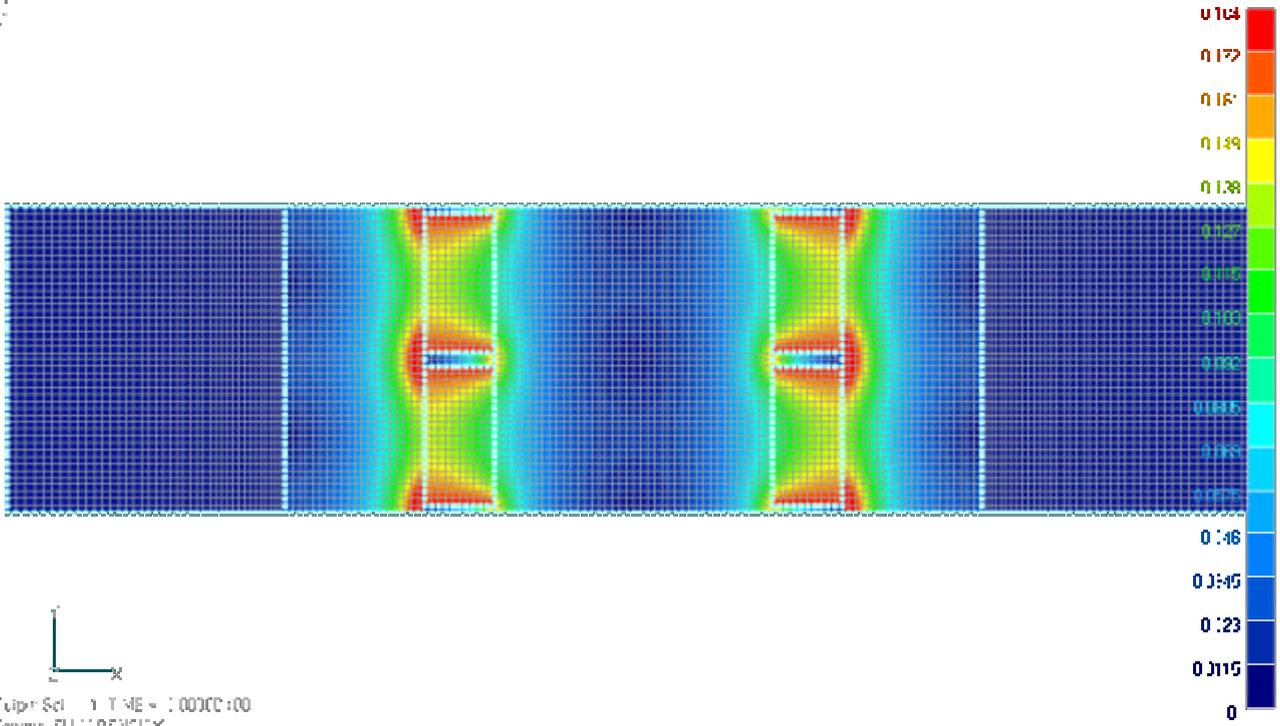
L=15D

v
||
L



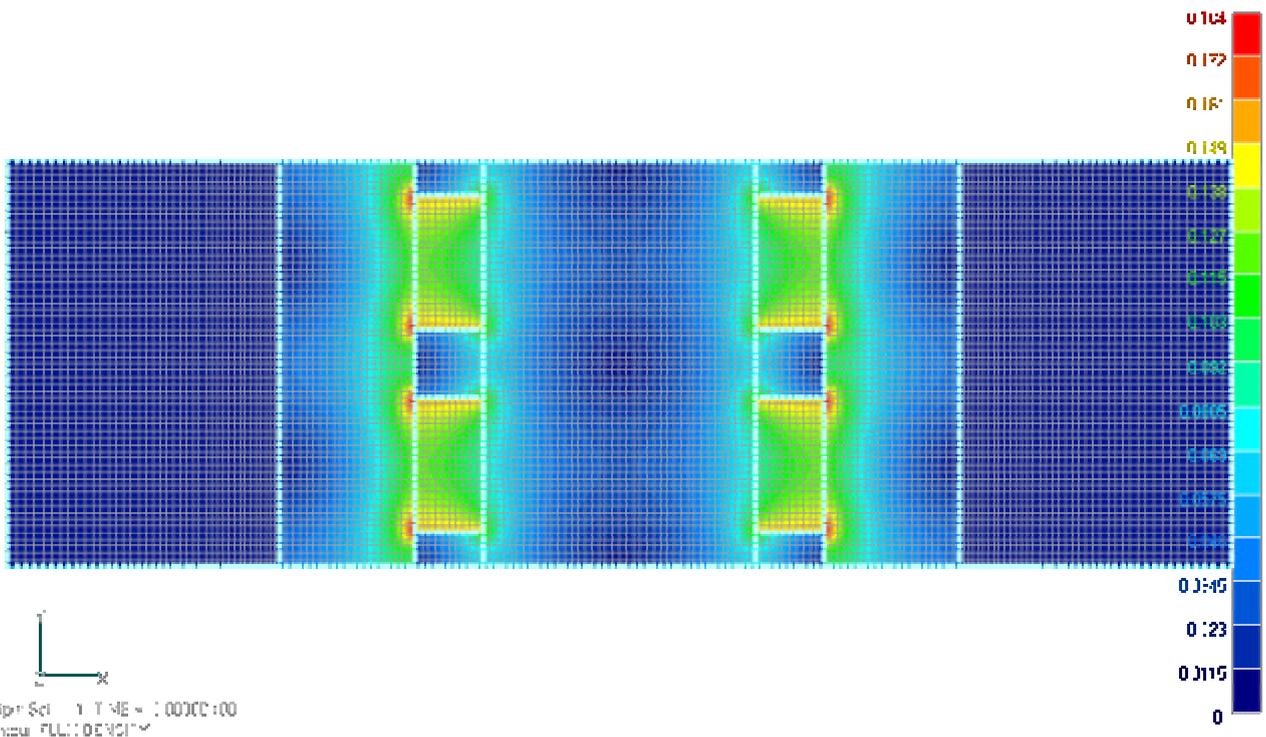
L=20A

v
||
L



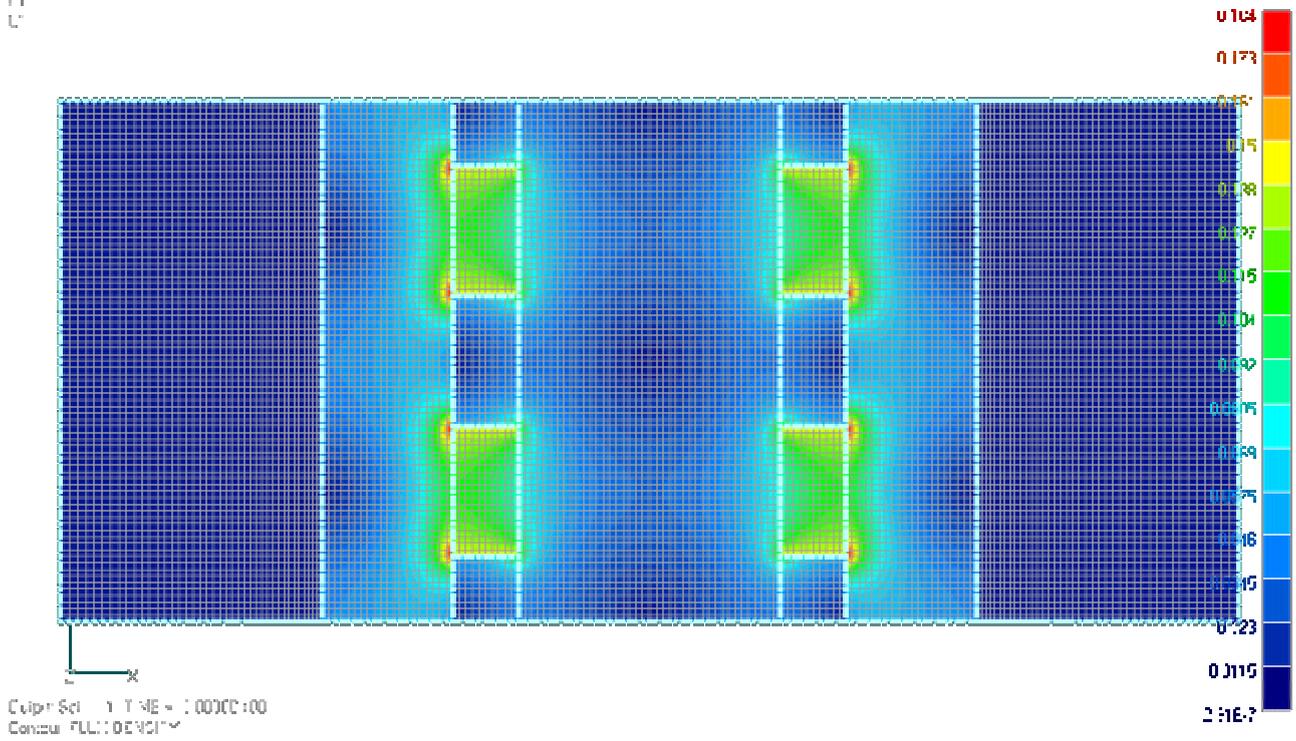
L=20B

v
||
L



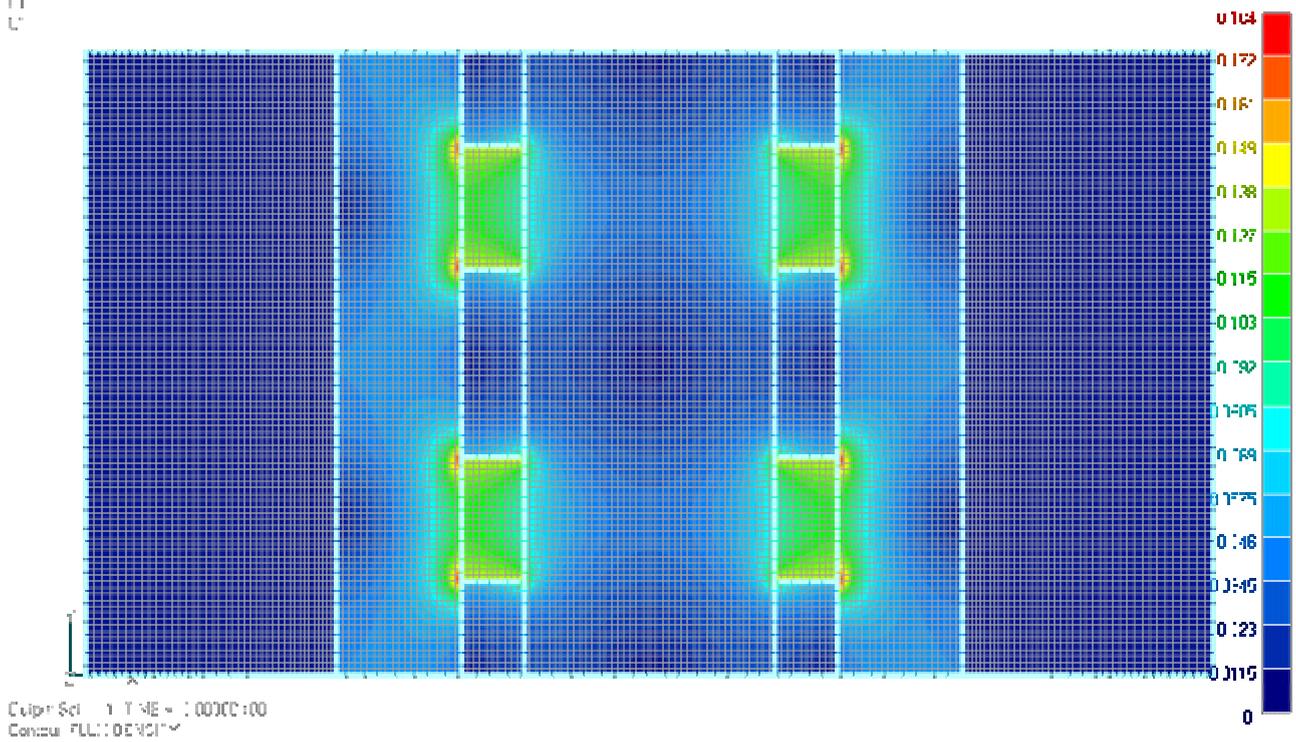
L=20C

v
||
L



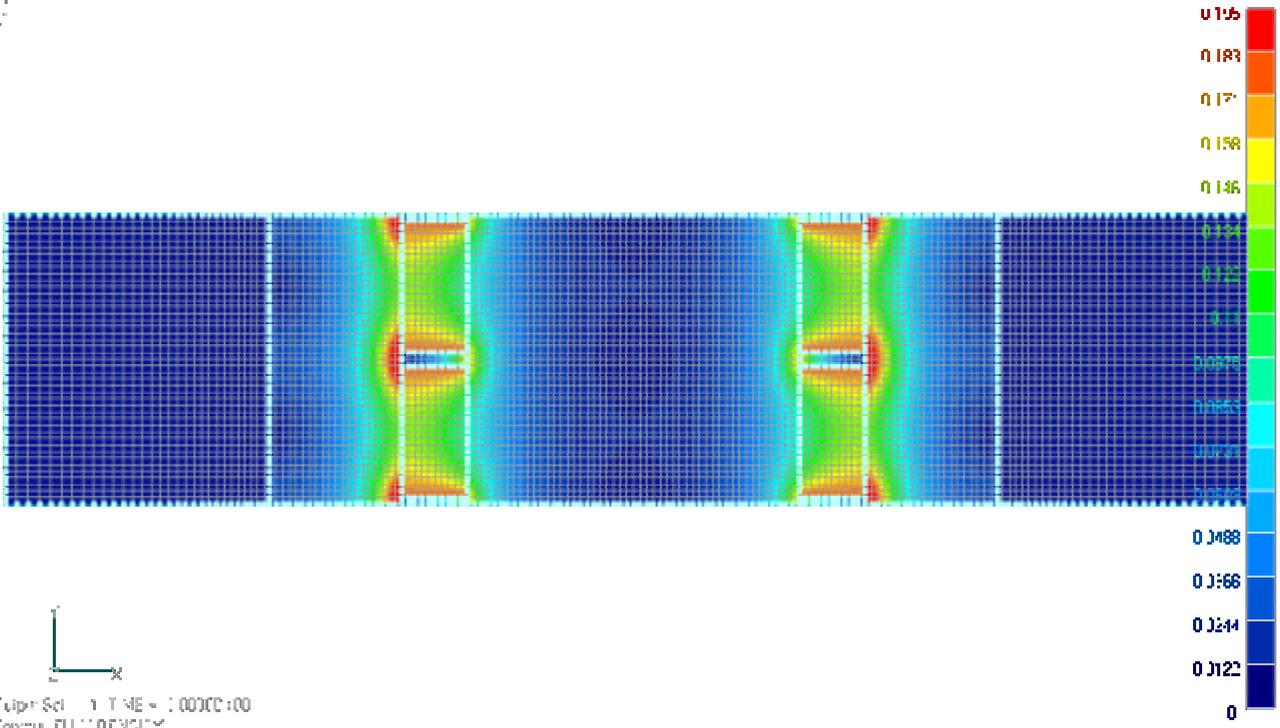
L=20D

v
||
L



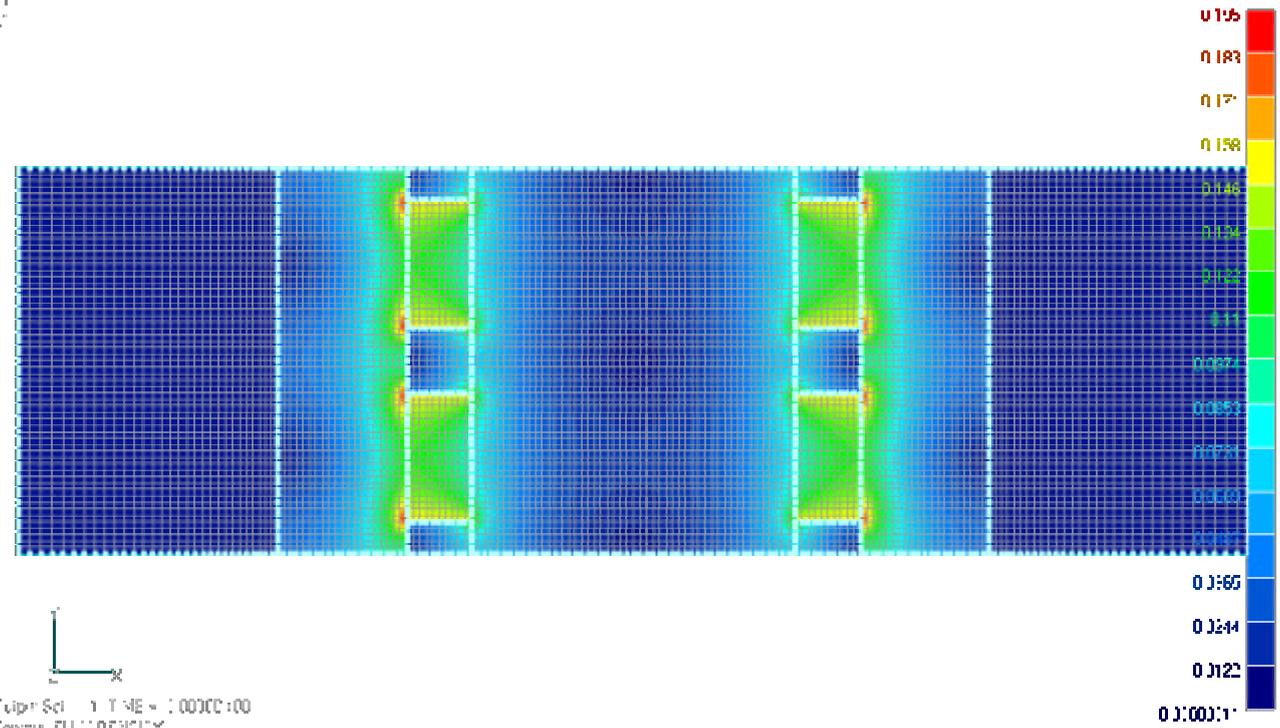
L=25A

v
||
L



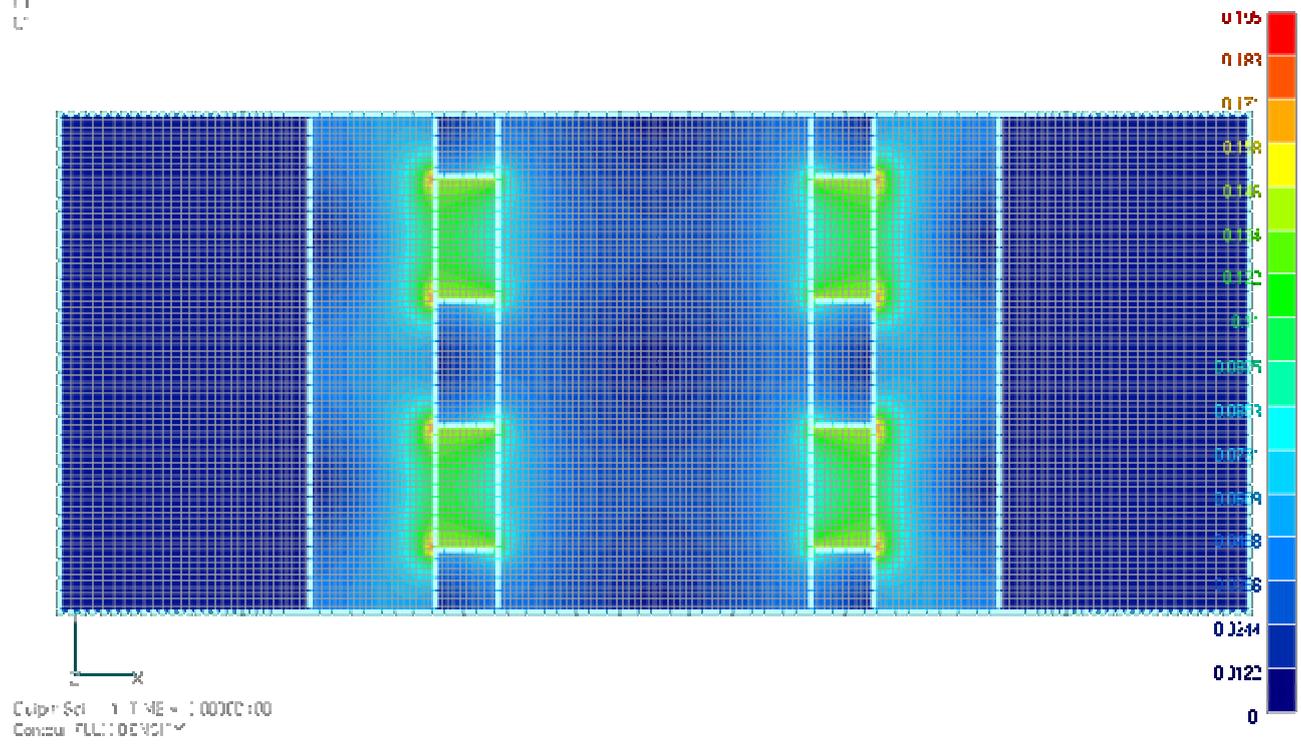
L=25B

v
||
L



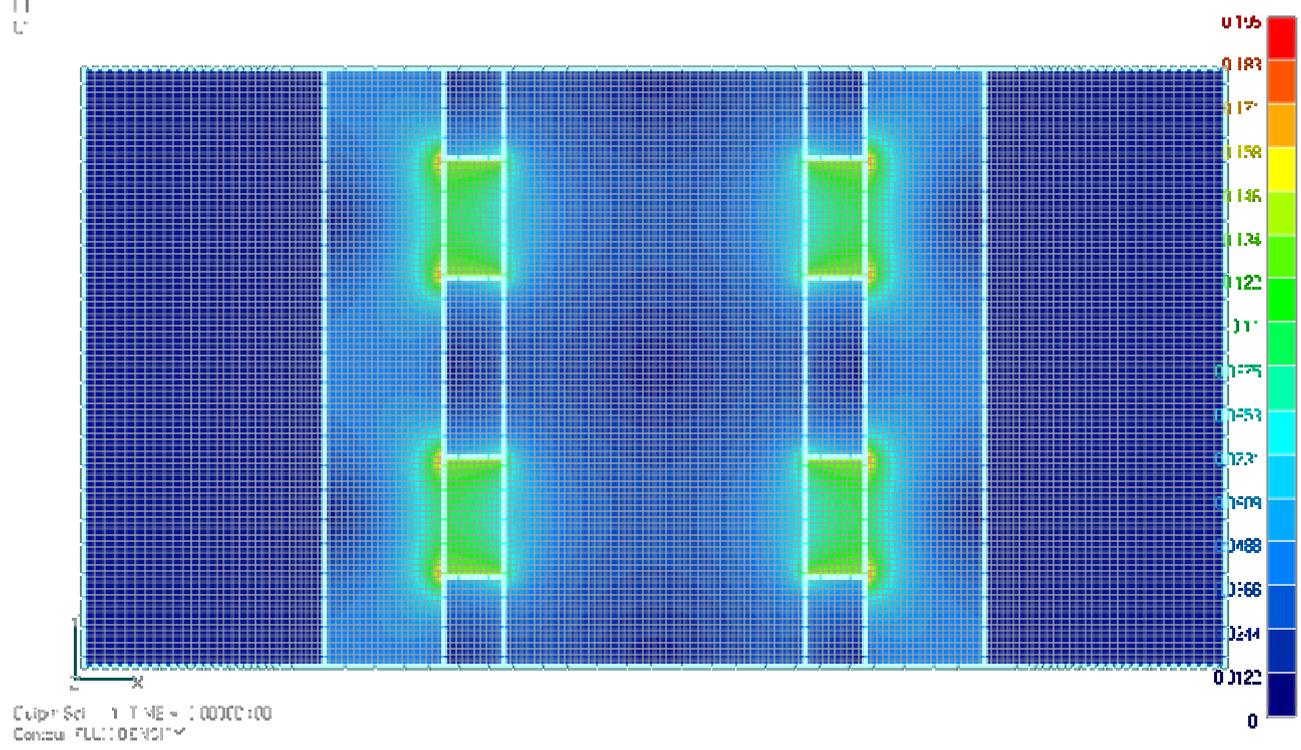
L=25C

v
||
L



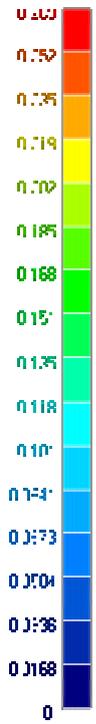
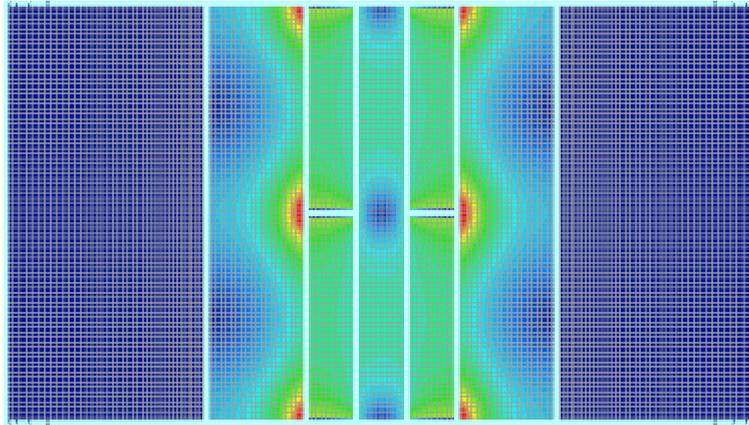
L=25D

v
||
L



L=05 2A

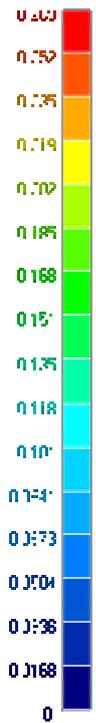
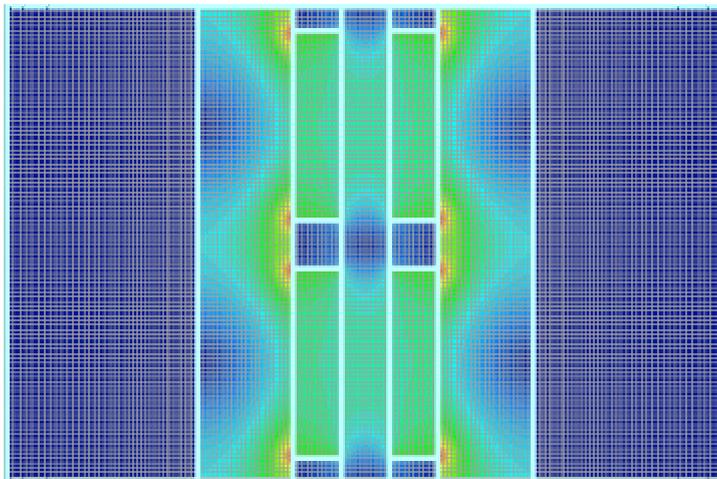
v
||
L



Clip: Sci... TIME = : 00000:00
Contour FULL: DEVS1

L=05 2B

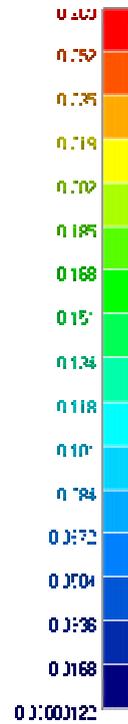
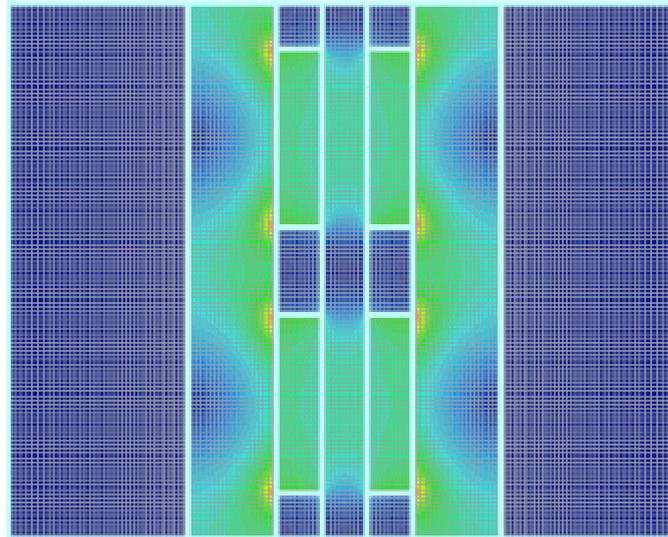
v
||
L



Clip: Sci... TIME = : 00000:00
Contour FULL: DEVS1

L=05 2C

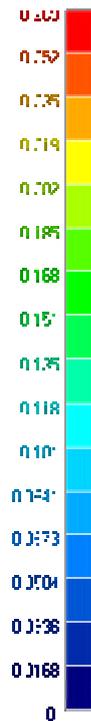
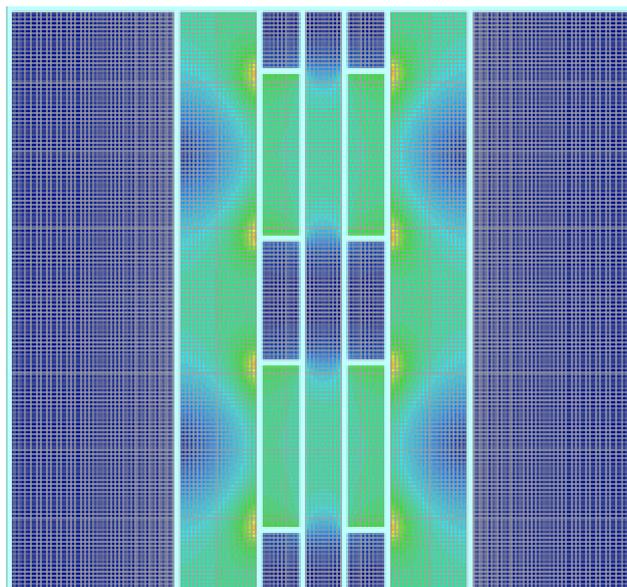
v
||
L



Cuipr Sol ... TIME = 1.0000E+00
Conver FULL: DEVC1

L=05 2D

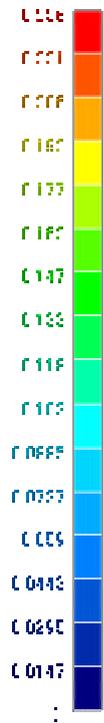
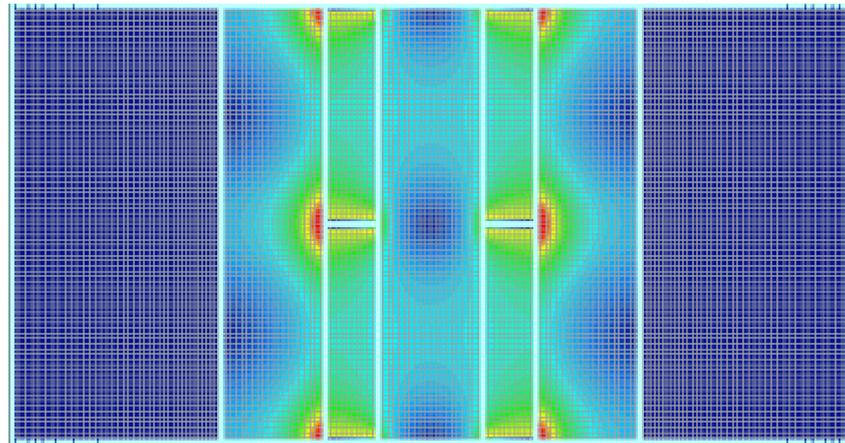
v
||
L



Cuipr Sol ... TIME = 1.0000E+00
Conver FULL: DEVC1

L=10 2A

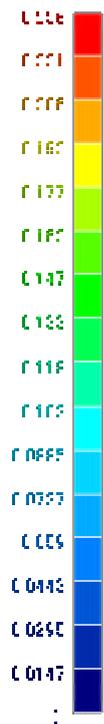
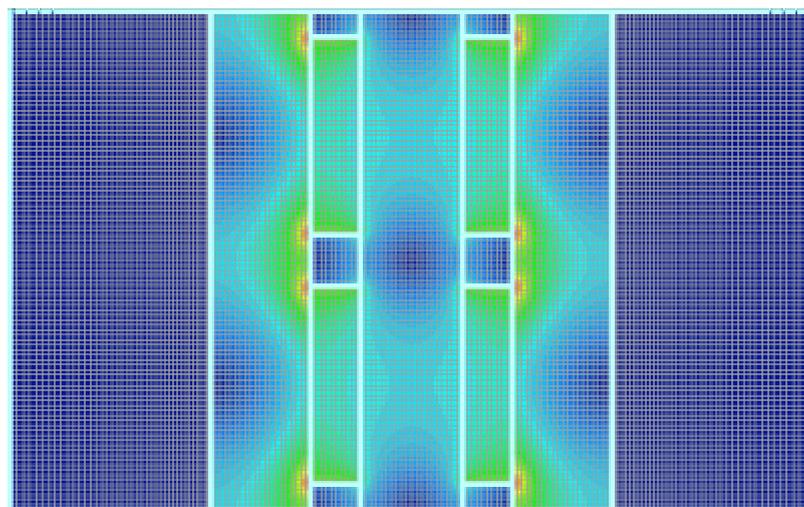
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Contours: FLUX: VELOCITY

L=10 2B

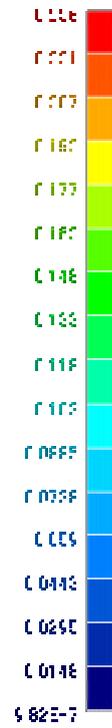
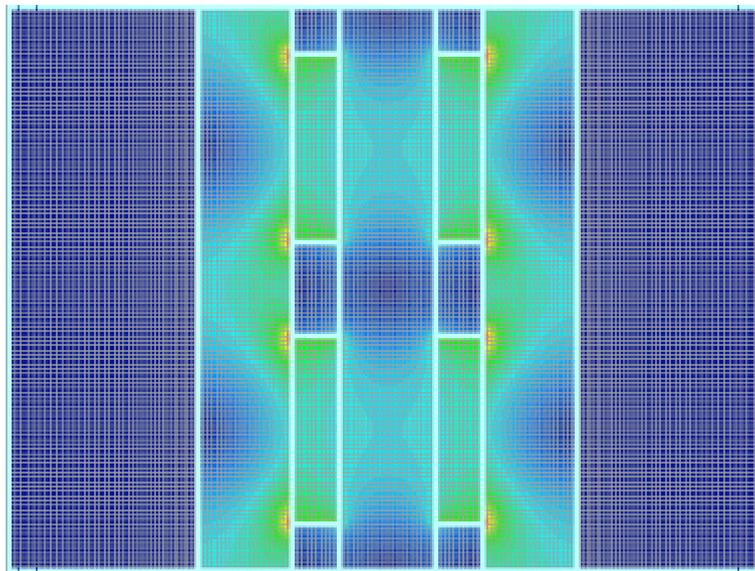
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Contours: FLUX: VELOCITY

L=10 2C

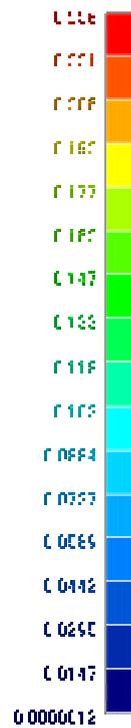
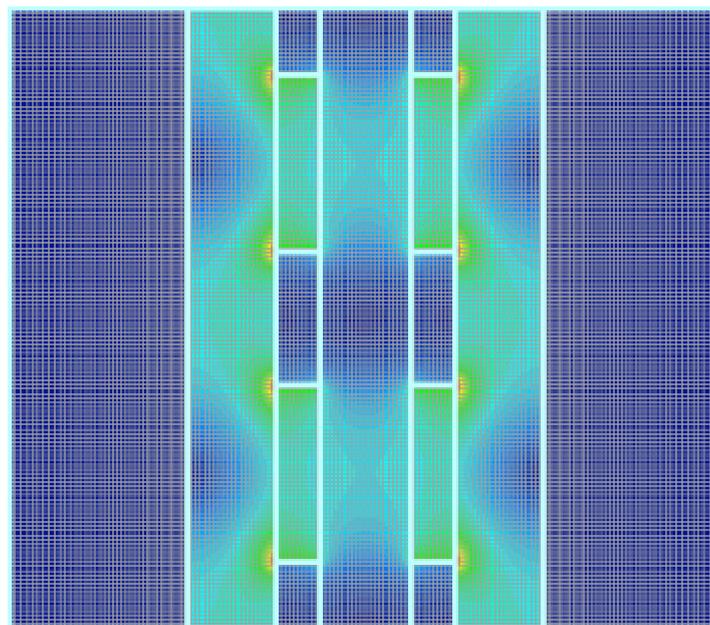
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Centroid FLUX OBJECT

L=10 2D

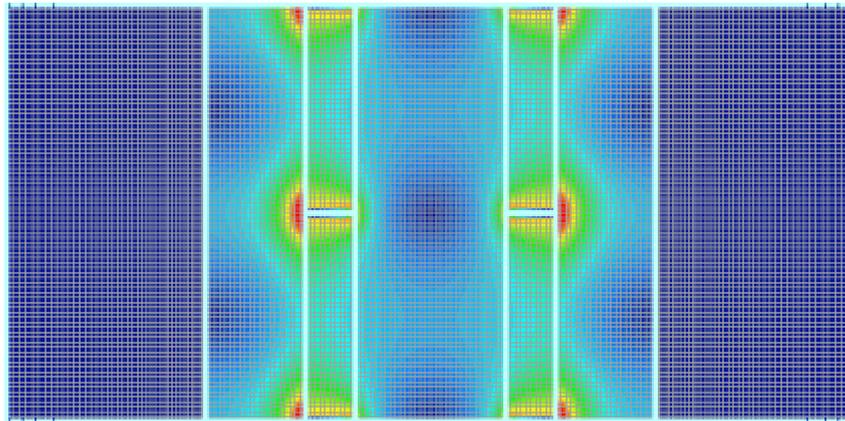
V
H
G



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Centroid FLUX OBJECT

L=15 2A

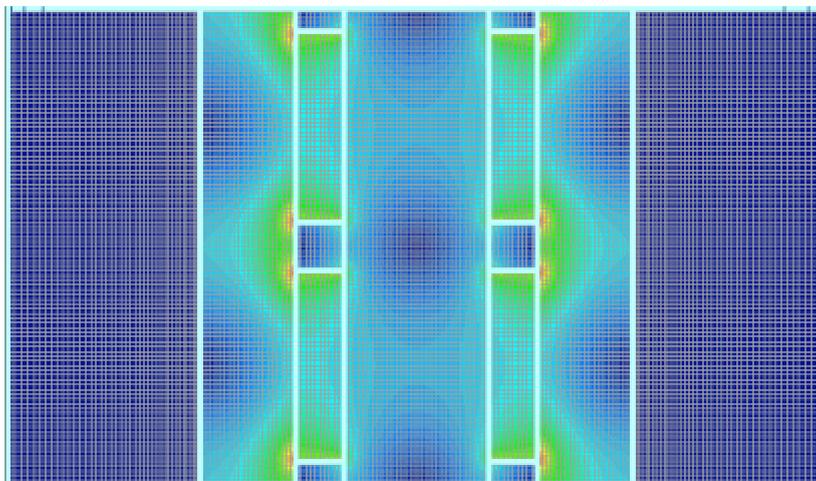
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVS1

L=15 2B

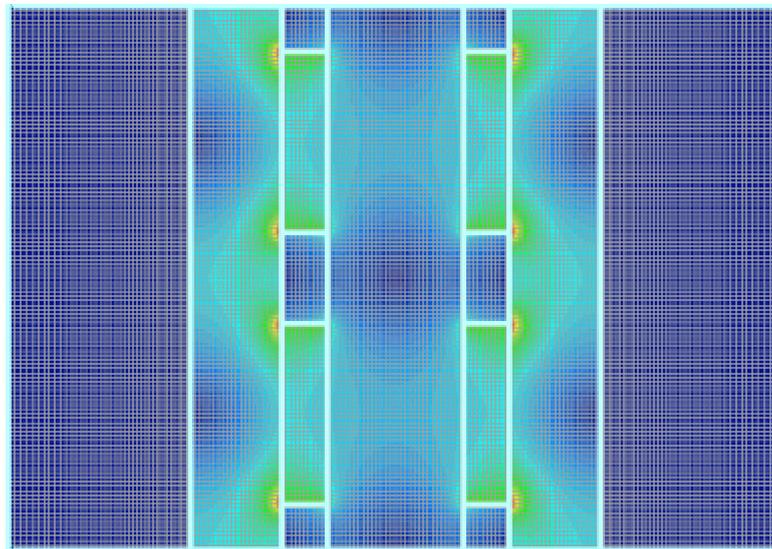
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVS1

L=15 2C

v
||
L

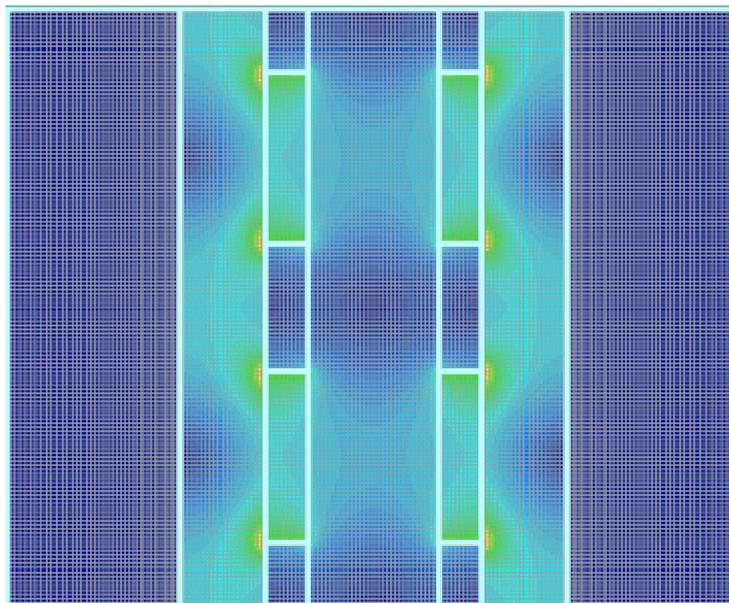


Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVS1



L=15 2D

v
||
L

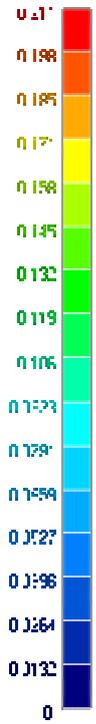
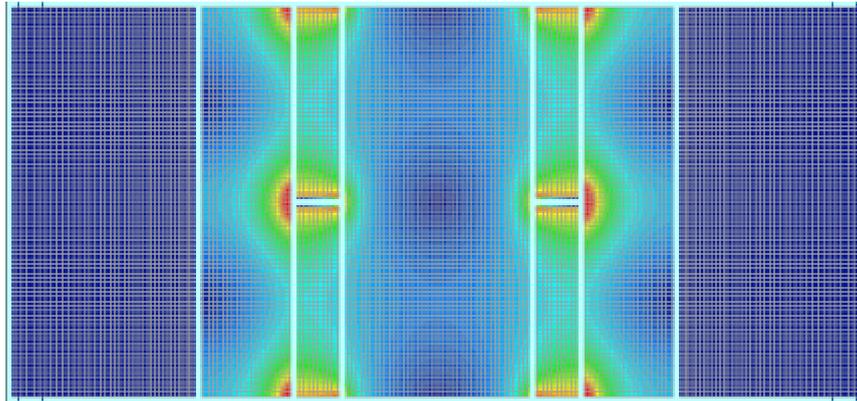


Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVS1



L=20 2A

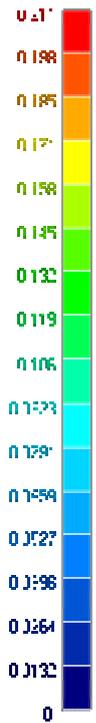
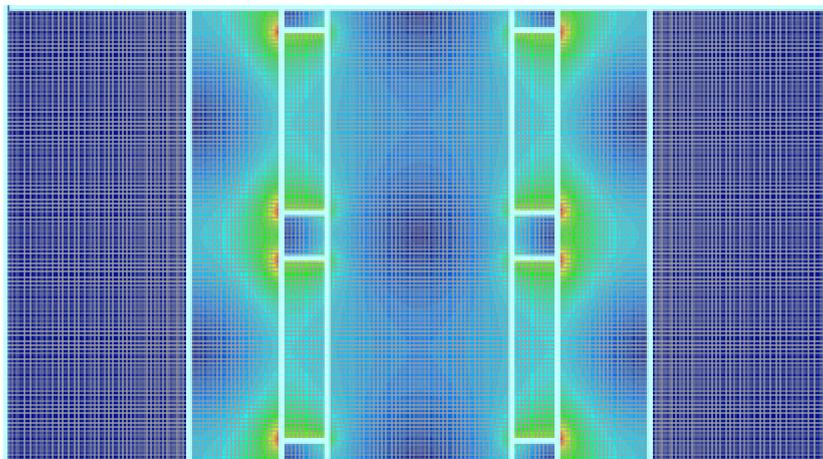
u
||
L



Cuipr Sol ... TIME = : 00000 : 00
Conzu FULL : DEVCIT

L=20 2B

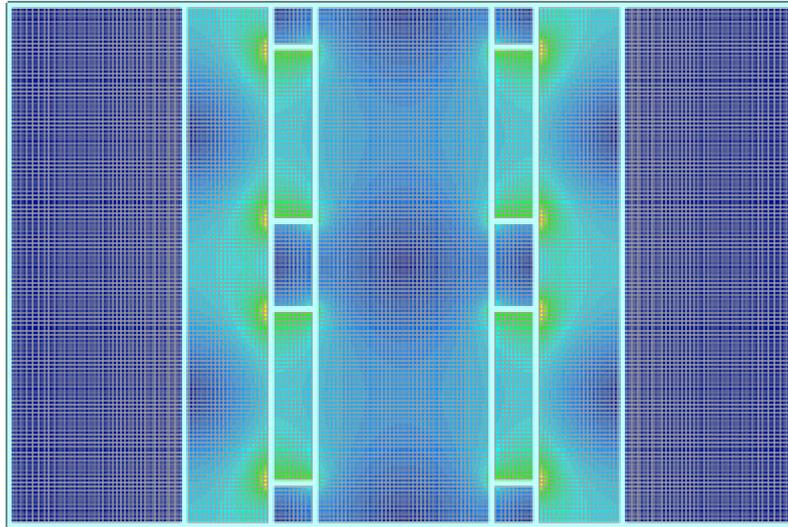
u
||
L



Cuipr Sol ... TIME = : 00000 : 00
Conzu FULL : DEVCIT

L=20 2C

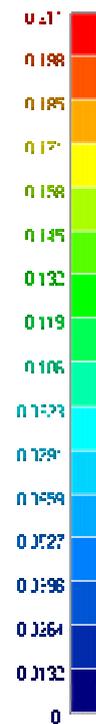
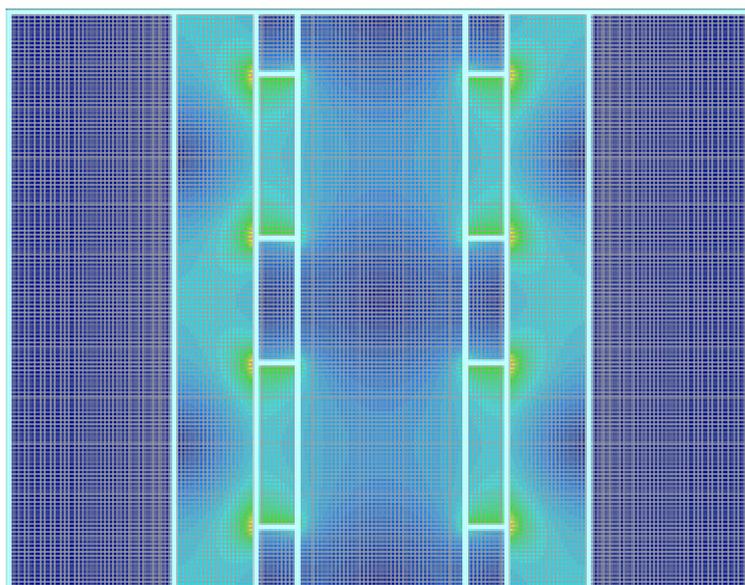
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVC1

L=20 2D

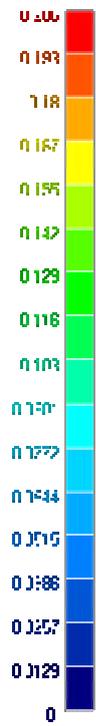
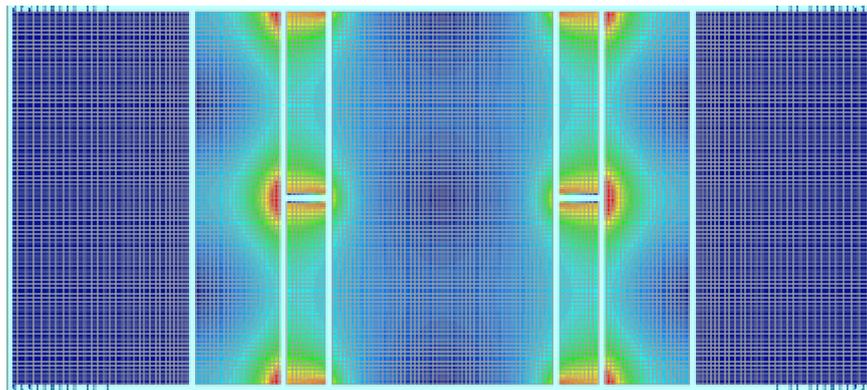
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVC1

L=25 2A

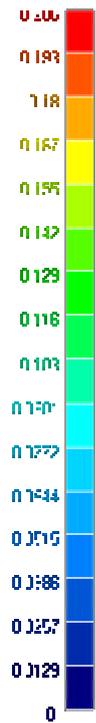
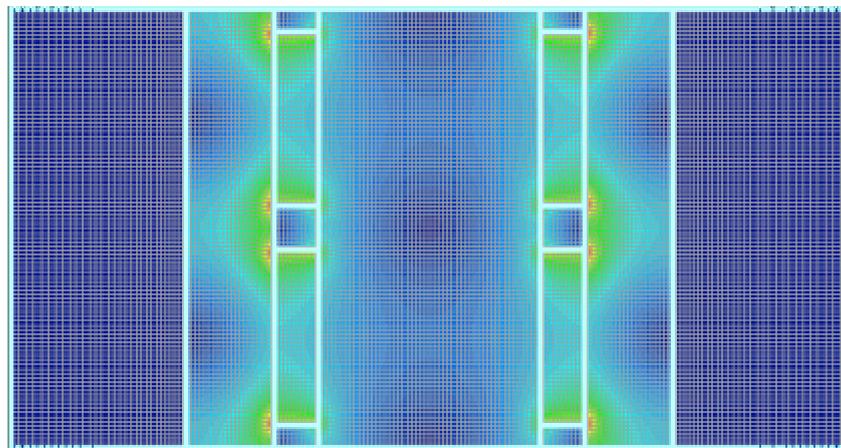
v
||
L



Calc: Sol 1 TIME = 1.0000E+00
Contour FULL: DEVS1

L=25 2B

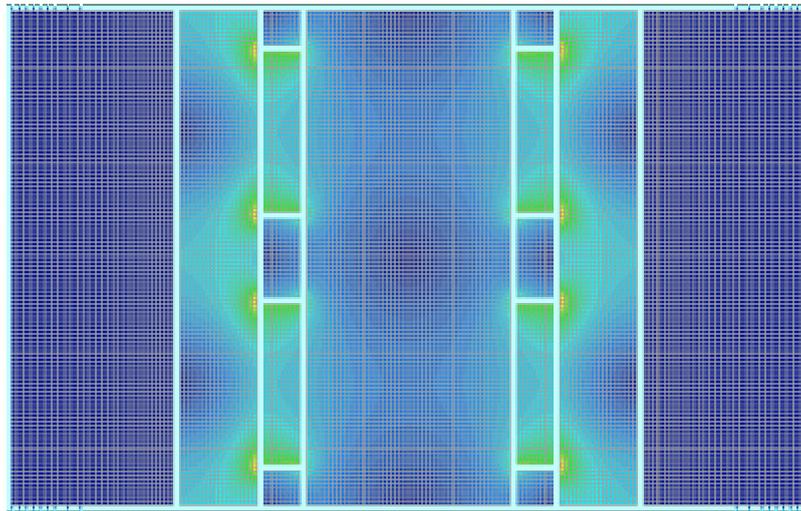
v
||
L



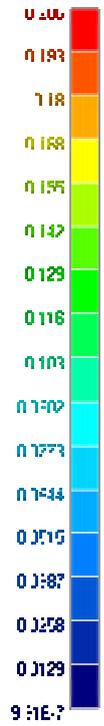
Calc: Sol 1 TIME = 1.0000E+00
Contour FULL: DEVS1

L=25 2C

v
||
L

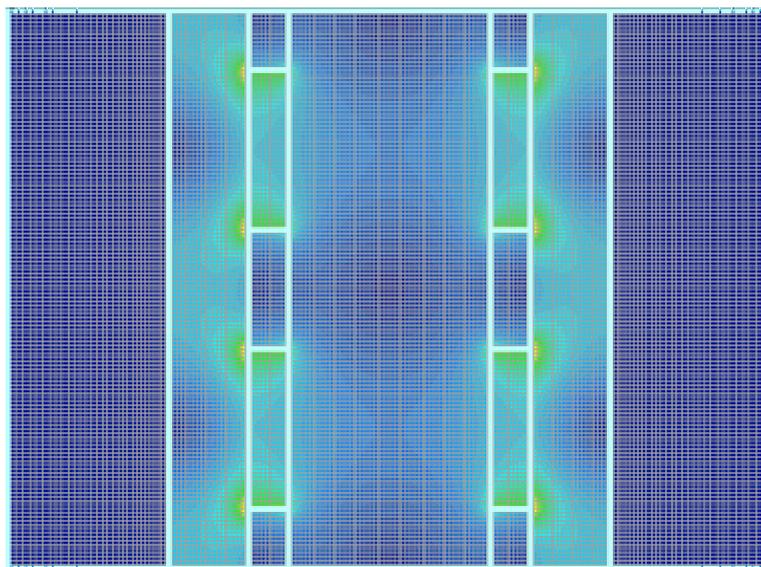


Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVC1



L=25 2D

v
||
L

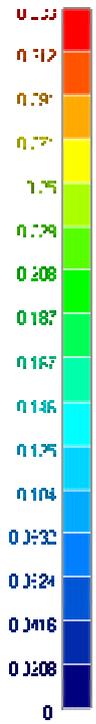
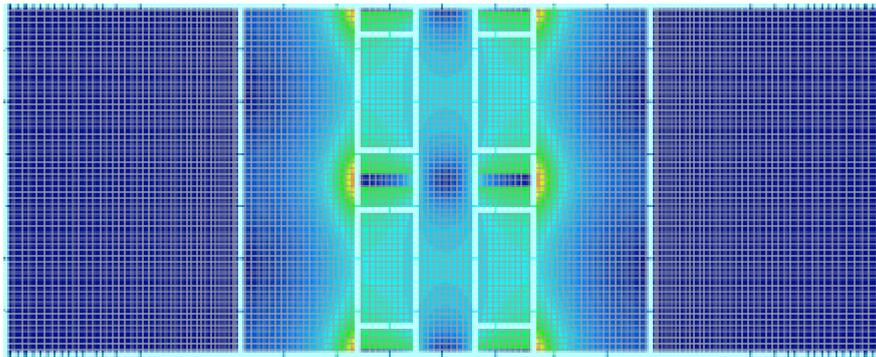


Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVC1



L=05 b

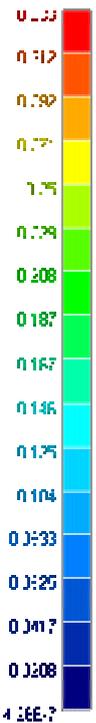
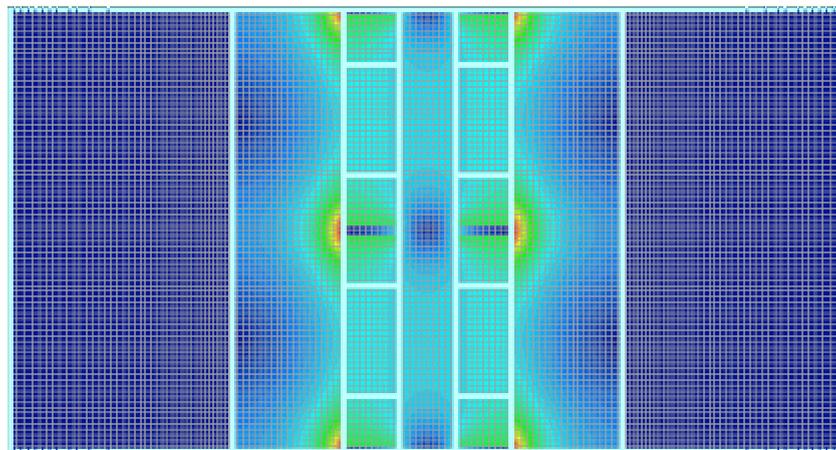
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVISI

L=05 c

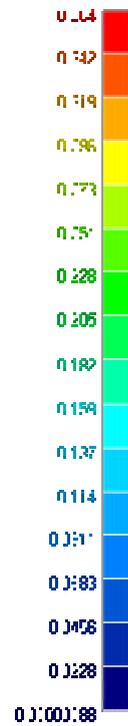
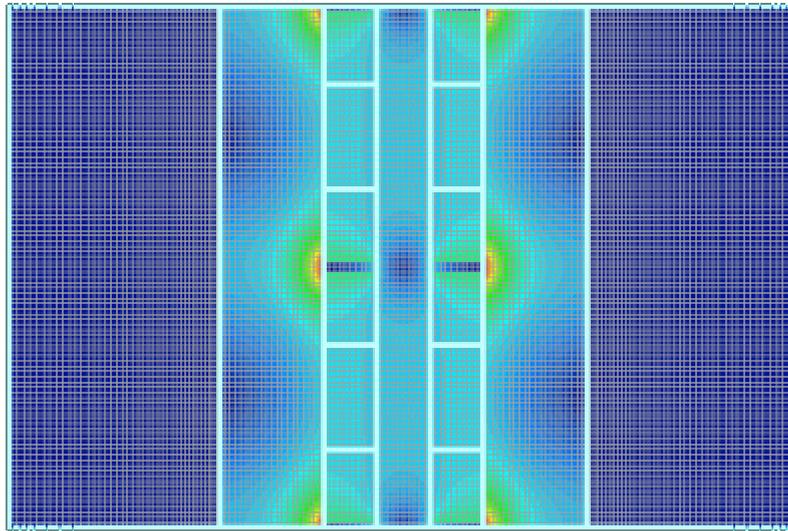
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVISI

L=05 d

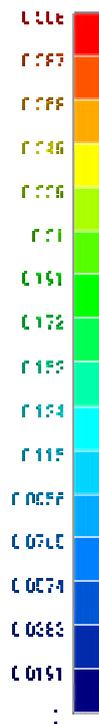
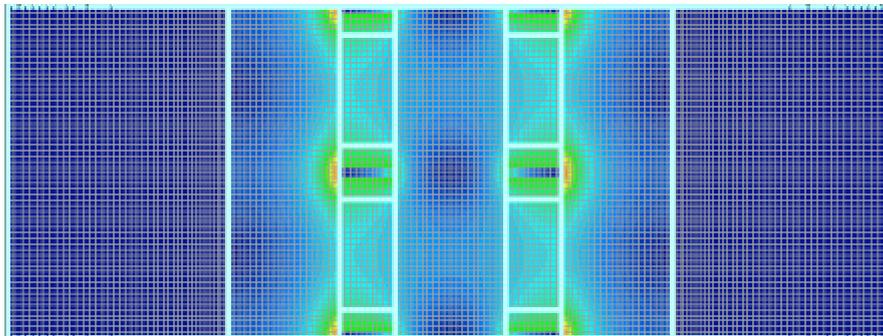
v
11
C1



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Control FLUX DEACT

L=10 b

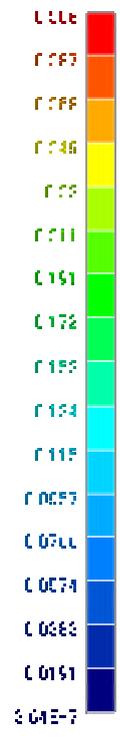
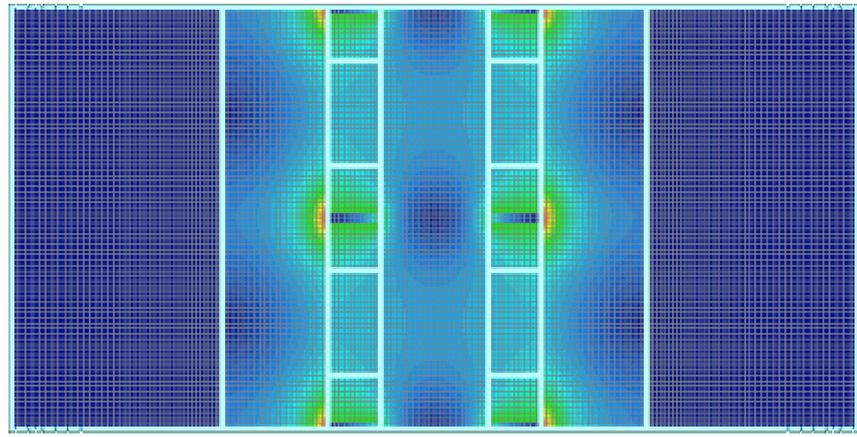
v
11
C1



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Control FLUX DEACT

L=10 c

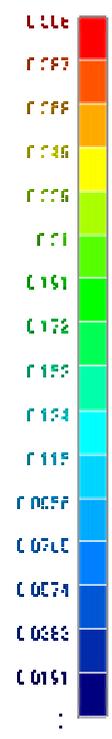
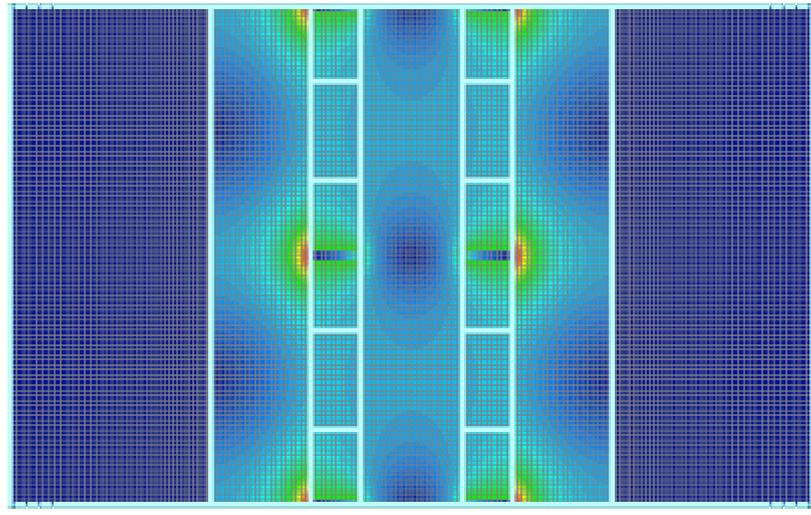
v
11
c1



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Centroid FLUX OBJECT

L=10 d

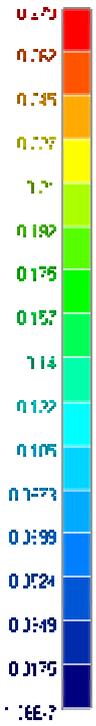
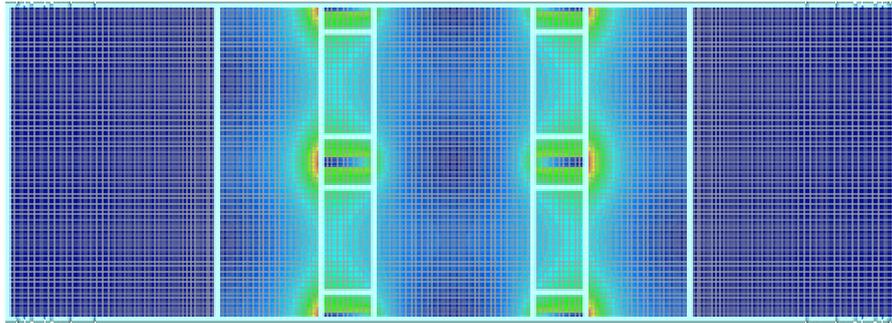
v
11
c1



Output Set: 1 TIME = 0.0000E+00
Centroid FLUX OBJECT

L=15 b

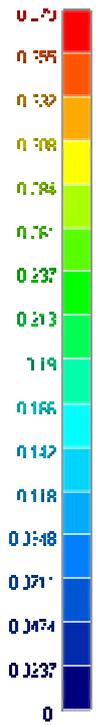
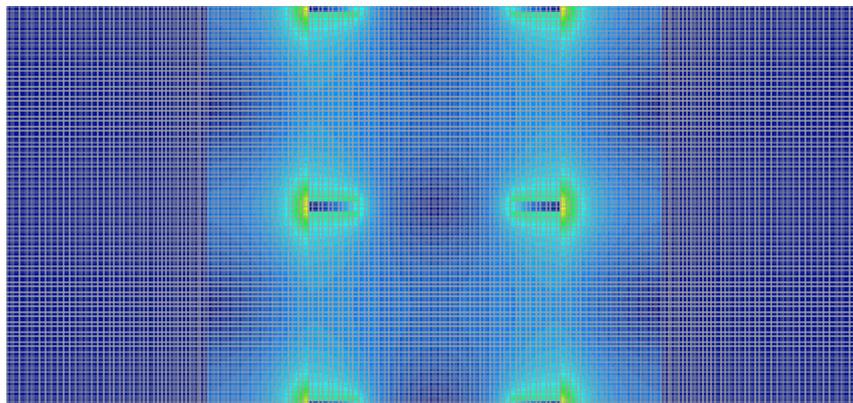
v
||
L



Cuipr Sol ... TIME = : 00000:00
Conzu FULL: DEVC1

L=15 c

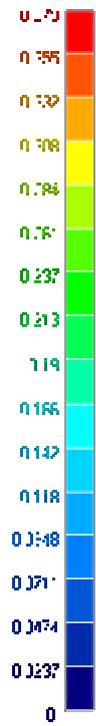
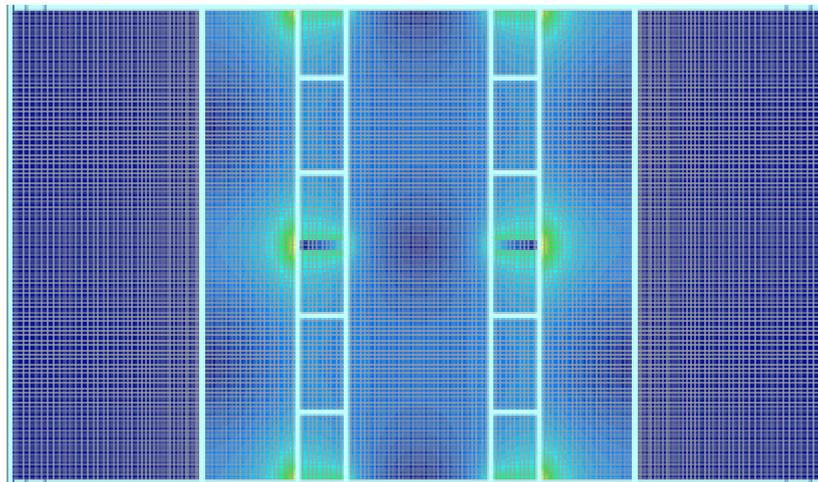
v
||
L



Cuipr Sol ... TIME = : 00000:00
Conzu FULL: DEVC1

L=15 d

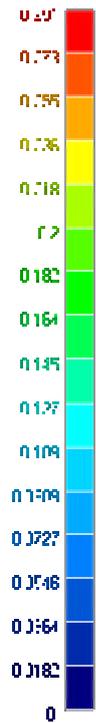
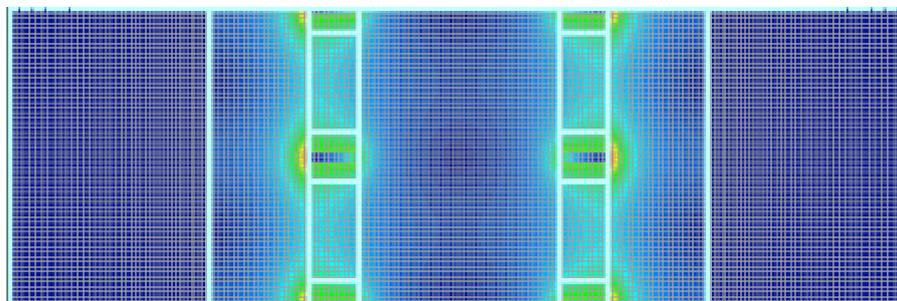
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL DEVISI

L=20 b

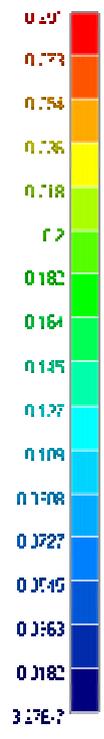
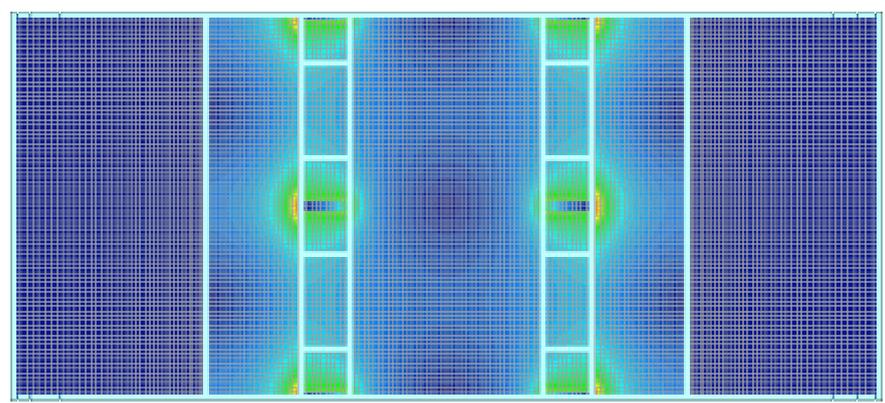
v
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL DEVISI

L=20 c

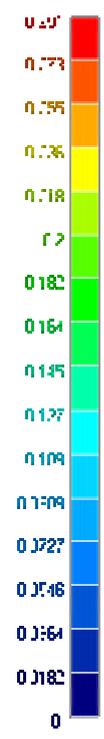
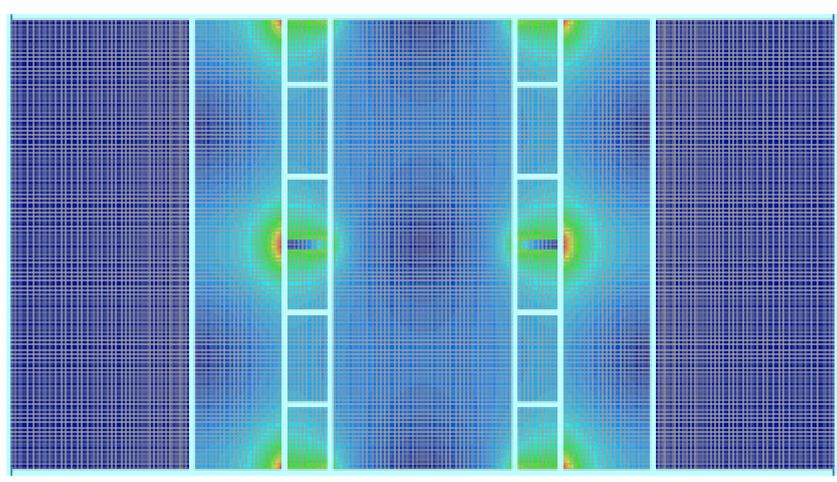
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVS1

L=20 d

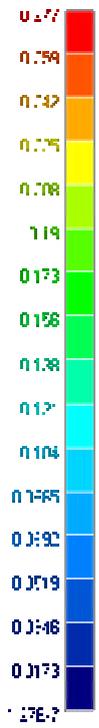
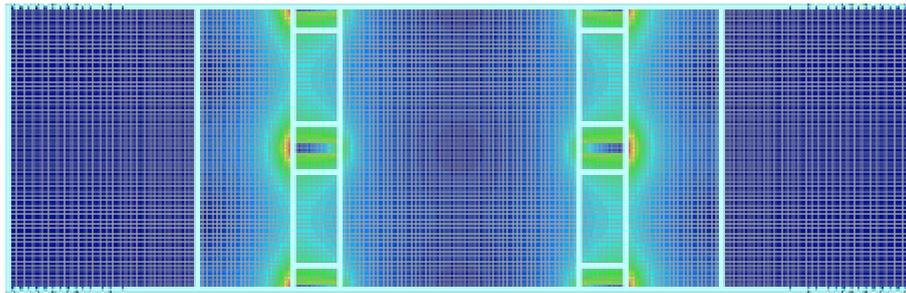
v
||
L



Cuipr Sci 1 TIME = 1.0000E+00
Conzu FULL: DEVS1

L=25 b

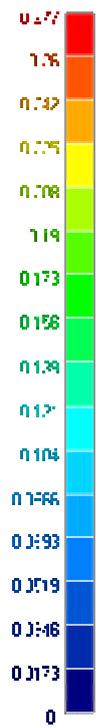
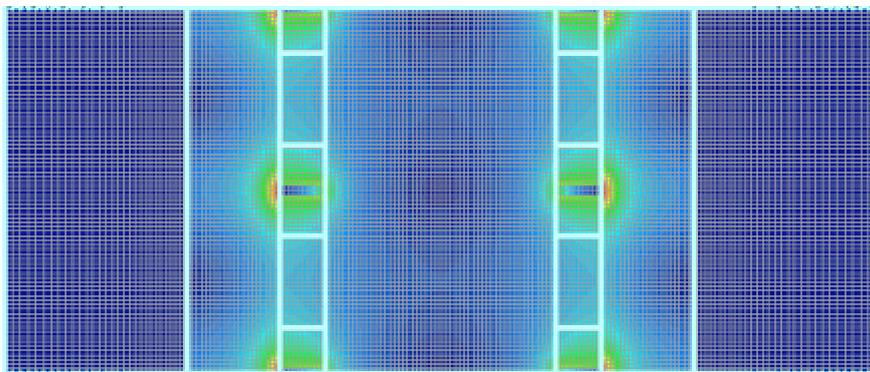
w
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 0.0000000
Conzu FULL: DEVISI

L=25 c

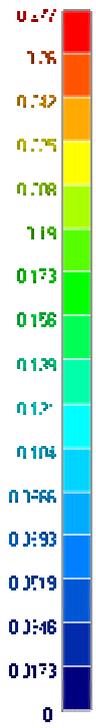
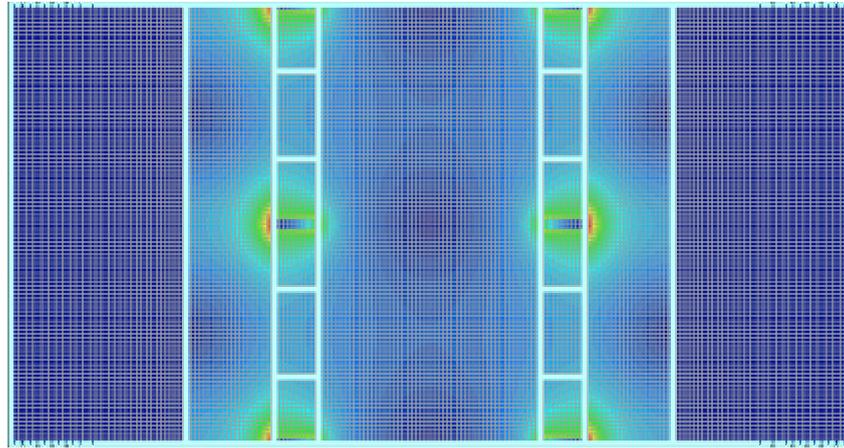
w
||
L



Cuipr Sol 1 TIME = 0.0000000
Conzu FULL: DEVISI

L=25 d

v
||
L



Cuipr Set 1 TIME = 0.0000000
Contour FILL: DEVC1

製品分解による小型風力発電機、小型水力発電機的设计思想

坂本東男（高知工科大学） 松岡順一、伊藤淳、内野喬誌、横山應祥

Design Idea of Small-Size Wind and Water Power Generators Obtained by Product Dissection

Haruo Sakamoto (Kochi University of Technology), Junichi Matsuoka,
Jun Ito, Takashi Uchino, Masaaki Yokoyama

1. 緒言:

近年、地球温暖化の防止や地球環境の保全化の観点から、新エネルギー確保の開発研究が盛んとなっている。通産省では2010年に太陽光発電を500万kW、風力発電を30万kWの目標で普及を目指している。

風力発電機には従来誘導型電磁石が使用されているが、最近特に中小型風力発電機に永久磁石が使われるようになってきている。従来の風力発電機はプロペラ(翼型)タイプが主流であり、定格発電能力は12.5m/sなど強風時に確保されるのが一般的である。小型風力発電機は集会所や個人住宅に普及されることを目指しており、このような強風状態での発電能力では十分な発電が得られないのが通常である。そこで、市販されている小型風力発電機を分解して、設計された思想をまとめ、今後の風力発電機の効率向上策に関して考察した。

製品分解は市販されている製品を分解して、中に含まれる創意工夫を学習出来る。また複数の製品を対象とすることにより、比較により、より良い設計の指針を得ることが可能となる。以下、市販の小型風力発電機、小型水力発電機を分解して、得られた指針を報告する。

2. 製品分解によるエコデザイン学習事例1)

工学系大学、特に機械工学分野では製品分解によるデザインの学習を行う大学がある2)。高知工科大学では1年生へ機械工学への導入学習として製品分解を実施した1)。米国製、日本製の製品を分解して両者の設計思想を比較した。ここでは電池式室内クリーナーの例を説明する。

比較したのは図1に示す米国製ブランドAと日本製ブランドBの2つのクリーナーである。価格に関しては日本製が米国製の3倍以上であるが、外観、性能には大差が認められない。図2は1年生クラスでの分解作業風景であり、図3は分解した結果の比較である。さらに表1に2つのクリーナーの比較を数値で示す。米国製の方がエコデザインとなっている。日本製は消費者の意向である効率化、利便性の追求からねじ、部品点数が多くなっている。最終的には充電時間の違いが設計に大きく影響している。この例から言えることは、エコデザインを目指すには、日本では消費

者の要求事項から考え直す必要がある。



図1 電池式室内クリーナー(左日本製、右米国製)



図2 1年生のセミナー(製品分解)風景



図3 分解結果比較(左米国製、右日本製)

比較の項目	米国製、ブランドA	日本製、ブランドB
ねじの数	6	12
電線の数	7	17
電気部品の数	2	52
フィンの数	6	19
スイッチの数	オンのみ	強、弱、オフ
フィルター	洗濯不可	洗濯可能
充電時間	24時間	4時間

表1 分解結果比較

3. 市販小型風力発電機の分解

3.1 米国 Southwest 製エアランド 403(400W)

Southwest 製エアランド小型風力発電機は米国、日本で最も多く販売されていると言われている。図4に外観を、図5に概略分解の状態を示す。本体は620mmの長さ、胴回り(最大)が142mm、重量は6.0kgである。長さ56cmの羽3枚で回転し、発電開始風速は3.0m/s、定格400Wは風速12.5m/sで出力される。図6に磁石が着いたローターとコイルの着いたステータを示す。ローターは12個のNd-Fe-B系永久磁石がエポキシで接着され、幅8mmのステンレス鋼バンドで補強されている。コイルは分布巻であり、コアの電磁鋼板の内径部は磁石の3倍の数である36個の突起を有している。3相での電力出力となっている。羽根はサーモプラスチック系カーボンファイバ強化材料で、効率的に電力を取り出す形状を検討されたと記述されている。強風時にはブレードの先が風によってねじられ、余分な力を逃がす働きをしている。



図4 米国製エアランド 403 小型風力発電機



図5 同上発電機の小分解

3.2 日本、新日本技研製 SNK-1000(1kW)

日本では風力発電機のメーカーが少なく、大型では三菱重工製が有名である。小型の風力発電機メーカーであった新日本技研が製作した定格1kW発電の風力発電機を入手して分解した。図7に外観を示す。図7左のフランジ部分に3枚の羽根(1.3m)をセットする。プロペラ(羽根)は木製である。本体は縦71cm、横38cm、奥行32cm



図6 同上発電機のローター、ステーター

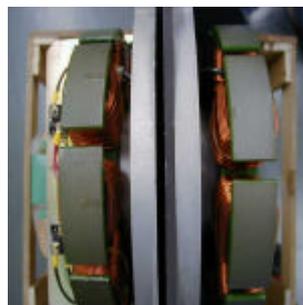


図7 新日本技研の1kW 風力発電機

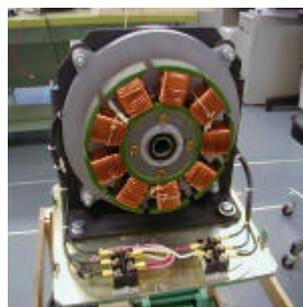


図8 同上ローターをはずした外観



図9 ローター(内径に8個の磁石)

の大きさである。重量は 14kg。カタログによれば、発電開始風速は 2m/s、定格 1000w である。コイルは図 8 に示すように 9 個である。コイルの線径は 1.7mm。左右のコイルは周方向にずれが見られる。ローターは直径 28.5cm。磁石は 8 個であり、磁石は長方形でなく、菱形となっている。左右 2 つの発電機は整流器で並列、直流となっている。

3.3 英国製ウインドチャージャー300W

英国式ウインドチャージャを図 10 に示す。

図面から 3D-CAD で描いてみた。真ん中がコイルをセットしたステーターであり、その両サイドに磁石が配置されたローターが 2 つある。コイルはコアがなく、樹脂で固められている。コイルは 8 個で磁石も片側 8 個である。

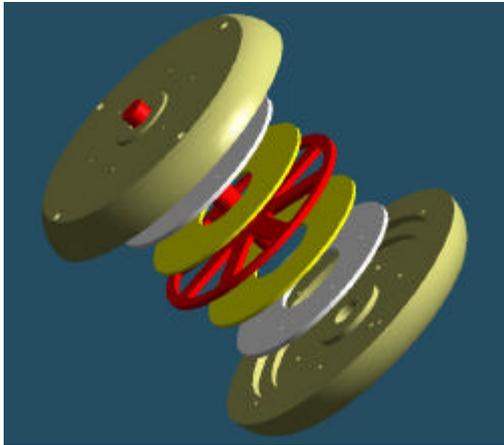


図 10 英国式ウインドチャージャの 3D-CAD

4 小型水力発電機の分解

4.1 米国製 AQUAIR 小型水力発電機

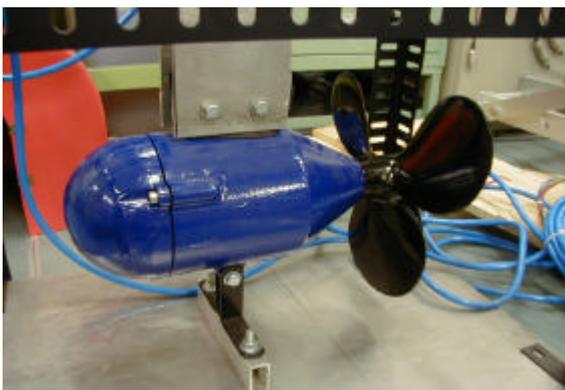


図 11 小型水力発電機 (米国 AQUAIR)



図 12 同上磁石を付けたロータ (2 段)



図 12 ステーター (2 段)

5. 結言：省略

Capstone Design and Manufacture of Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle

Haruo Sakamoto, Takashi Uchino, Noriaki Onishi, Toru Kaino, Tatsuro Sawada, and Masaaki Yokoyama

Dept. of Intelligent Mech. Sys. Engr.

Kochi University of Technology

Tosayamada-cho, Kochi 782-8502, Japan

ABSTRACT

This paper describes an engineering education attempt in a synthesis class during the 4th year. Since the Kochi University of Technology was inaugurated in April, 1997, four years of engineering education trials have passed. In 1997, 3 student teams participated in an eco-power race held in Kochi, Japan, with hand-made ecological vehicles. In the summer, 1998, three teams participated in the Shikoku Electric Vehicle Rally using light weight vehicles converted into electric cars. The synthesis class was performed based on such past engineering activities. In order to provide an active learning opportunity, a synthetic learning environment is needed rather than just teaching in classes. Manufacturing is also considered to be of great importance for mechanical engineering as well as the basic sciences such as mathematics and physics. As a capstone learning course, a team of five students in the laboratory tried to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle.

INTRODUCTION

The Kochi University of Technology, shown in Figure 1, was opened in April, 1997. The university has been trying new engineering education such as first year seminars using real products¹⁾, computer assisted English education^{2,3)}, and so on. In this report, an activity for a synthesis education class is described.

Two extracurricular (out of class and no credit) activities⁴⁾ were conducted. The first one is the Eco-power Race. In November, 1997, the Kochi Eco-power Race organized by Toyota Vista Kochi was held in Kochi, and three teams from the Kochi University of Technology entered the race. The second is the Electric Vehicle Rally. In August, 1998, the Shikoku Electric Vehicle Rally, organized by a committee of high school teachers and university educators, was conducted in Shikoku, the smallest main island of Japan. The rally is the first one in Japan for a car rally on public roads. Three teams from the Kochi University of Technology joined the race. The synthesis education class was performed in the 4th year based on the experiences from these activities. The team of five students selected a design theme and manufactured a hand-made small-size electric vehicle.

Electric or hybrid vehicles are being developed and sold. However, electric vehicles at the present are not perfect. They can not run very far, they need to charge which requires a long time, batteries are heavy and expensive, and so on. However, in the near future, fuel cell vehicles will become commercialized. This will make gasoline-powered vehicles less common. Under such a circumstance, five students from the Kochi

University of Technology started to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle as a capstone project course in the 4th year. They selected a small-sized one instead of a conventional one, and aimed to produce a hand-made vehicle for short-range running.



Figure 1 Kochi University of Technology Opened in 1997

DESIGN CONCEPT

The first of the main design concepts is a small-sized vehicle, whose vehicle category is equivalent to the one for the engine-powered three or four wheel bicycles in Japan. The size was determined as being able to carry the vehicle in a light weight truck for a long drive. The length, height, and width were 1.6m x1.0m x1.6m.

The second main design concept is the frame design. Applying a double wishbone type suspension for the front and full trailing-arm type suspension for the rear, the frame configuration was studied. Using 3dimensional computer graphics (3D-CG), the frame configuration was determined. Figure 2 shows the graphics for the mounting suspensions and two motors. The team recognized that the 3D-CG image was effective for the group to determine the target the team will aim.

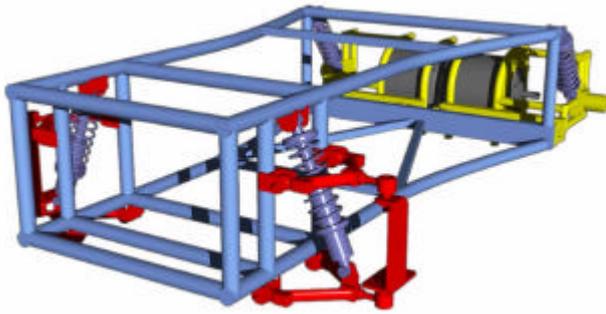


Figure 2 Frame Model by 3D-CG (Computer Graphics)

The third main design concept is to determine the motor. The in-wheel motor made by Honda for electric vehicles was applied, because the motor has a controller inside, and output data can be used for control. Although rather high power motors of 14kW for electric vehicles are in the laboratory, the team decided to use two Honda motors of 600W, which seemed not to be enough for the vehicle. They used these motors, because they can make some devices to control the vehicle. Figure 3 shows the motor.



Figure 3 Honda In-wheel Motor

DETAIL DESIGN AND MANUFACTURE

Frame Design and Manufacture

Based on the image developed by the computer graphics, the frame design was performed by 3-dimensional computer aided design (3D-CAD). Figures 4 and 5 show the 3D-CAD graphics of the main frame and mount frame for the motors. The front part of the main frame was determined to have a width smaller than the rear one, because the wishbone arms are desired to be long enough within the

planned vehicle width. The width of the rear part in the frame is set to be longer within the planned vehicle width in order to obtain a high twist rigidity.

About 30 two-dimensional drawings were made for the manufacturing.

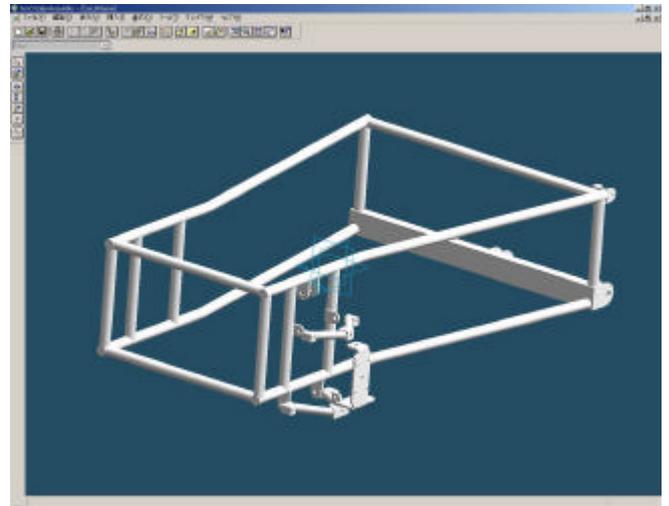


Figure 4 3D-CAD Drawing of Main Frame

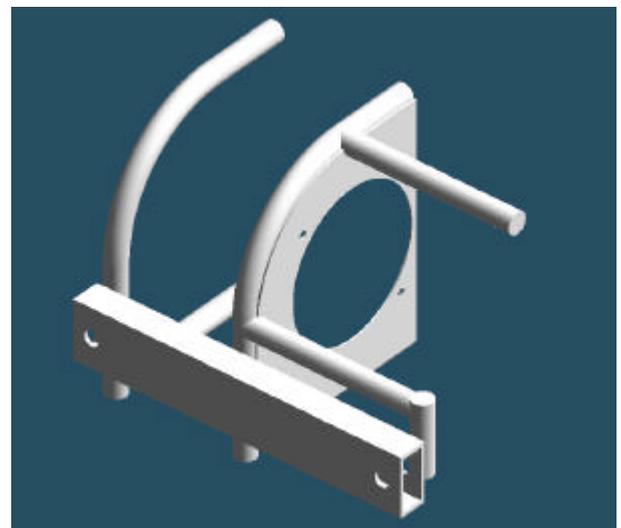


Figure 5 3D-CAD Drawing of Motor Mount Frame

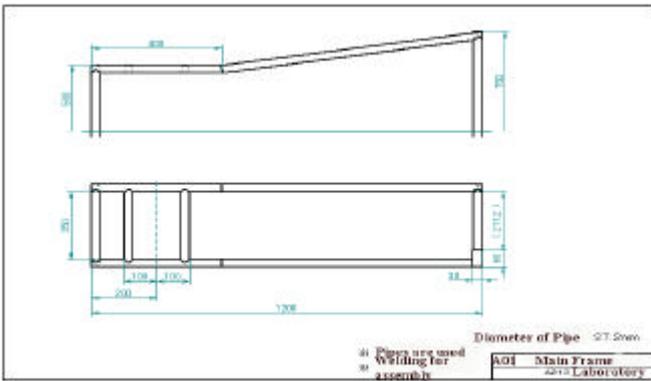


Figure 6 2D Drawing of Main Frame

Since the university is not ready to manufacture by welding, the assembly by welding was conducted at a shop near the university. The drawings were not sufficient for manufacturing due to the time constrain from design to manufacture and due to the inexperienced students' ability for drawing. Figure 6 is a drawing example. The team made 30 drawings and discussed them with people in the shop.

Front Suspension and Steering Construction

The front suspension was determined to be a double wishbone type one, because of its high rigidity, stable camber angle, and is common in conventional automobiles. Figures 7 and 8 show the suspension system.

As for the steering construction, it consists of a steering wheel (handle), shaft, gear box of the rack and pinion type, and rod. The gear box for a light weight vehicle has been commercialized, and is used for this project. Between the handle and shaft, and between the shaft and gear box, universal joints are applied for flexible angle control. At this moment, the vehicle is driven by a handle for cornering. In the future, sensor control will be studied for auto vehicle steering. In order to obtain an auto steering function, the gear box of the rack and pinion type will be controlled by a servo-motor. Figure 9 shows the gear box.



Figure 7 Front Suspension System (With a Tire)



Figure 8 Front Suspension System (Closer View)



Figure 9 Gear Box of Rack and Pinion Type

Rear Suspension and Motor Mount

The rear suspension is the full trailing arm type as shown in Figures 10 and 11. The motor is mounted on the mount frame, which can move vertically by the trailing arms. From the design concept of the rear suspension, the motor shaft and the wheel shaft was determined to be directly connected. The shafts are connected by the coupling shown in figure 12. The center of the motor shaft was intended to coincide with that of the wheel shaft. However, due to the deformation caused by welding, the center to center is not straight enough for driving. This should be modified.



Figure 10 Rear Suspension and Motor Mount



Figure 11 Rear Suspension and Motor Mount (Closer View)

Motor and Drive Control

The vehicle is powered by the two motors, which control the two rear wheels. The motor is the Honda in-wheel type, DDW-4060 Type A , and the microprocessor from Akizuki Electric Co. AKI-H8 is used for the drive control. The four signal electric wires of speed, brake, clock-wise rotation and anti-clockwise rotation, and compensated current are used for monitor and control.

The curving control is conducted by obtaining the rotational speed difference between two wheels running on the curve. Figure 12 shows the rotational speed ratio of the outer wheel and inner wheel. A simple control is planned for the first stage of vehicle control. 100% and 90% of the speed difference was decided for drive control. The speed difference control should be continuously conducted according to each curve radius. However, this project is the very first stage for control, and the simple control was used in order to initially study and then modify. Figure 13 shows the microprocessor board, and Figure 14 shows the rotational speed difference between the outer and inner wheels depending on the curve radius. The display for the

drive control is then produced, and Figure 15 shows the display.

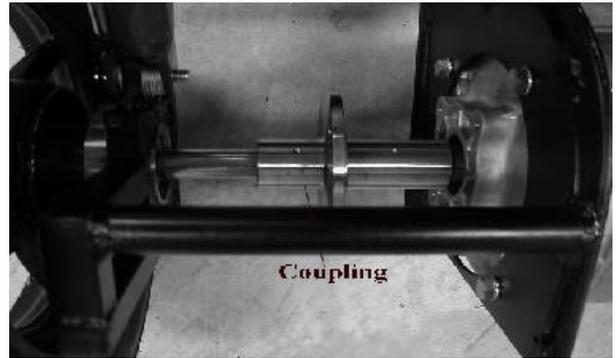


Figure 12 Coupling between Motor and Wheel Shafts

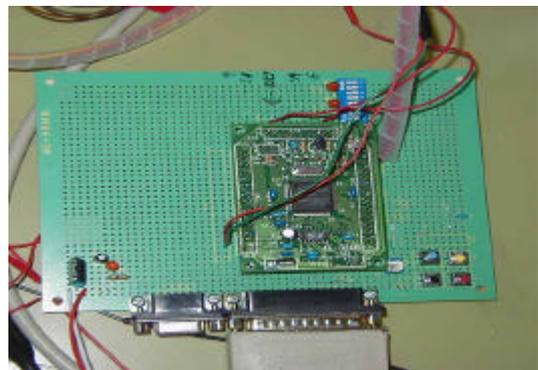


Figure 13 Micro Processor Board for Drive Control

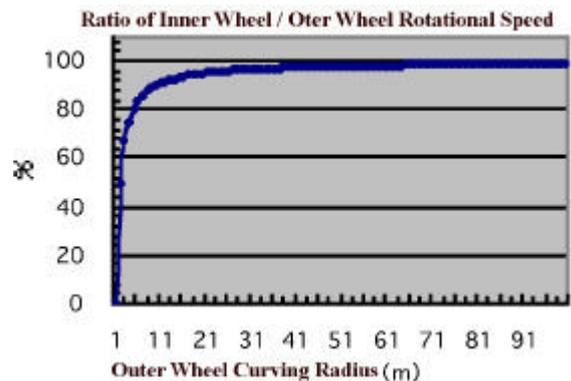


Figure 14 Rotational Speed Difference on Curves

Brake System

The brake system consists of a brake pedal, master cylinder, and drum brake on a wheel. Because the brake pedal and master cylinder for three or four wheel bicycles is not sufficient to the vehicle, a set



Figure 15 Display for Drive Control

consisting of a brake pedal and master cylinder for light weight vehicles was used. Figure 16 shows the cylinder for the pressure amplifier. In the future, the auto brake system using some sensors will be planned.



Figure 16 Brake Cylinder for Pressure Amplifier

Assembling

After the manufacture of the main and motor mount frames, the vehicle was assembled. Figures 17 and 18 show its appearance. The vehicle was originally planned to be designed and manufactured in order for the team to participate in the 2000 Electric Vehicle Rally in Shikoku, which was held in August, 2000, in Kochi. However, the assembling was not finished by the time the rally started. The work was again started in the autumn semester, and finished by the end of Jan., 2001. However, technical matters are still to be solve, which will be studied in the next year.



Figure 17 Hand-Made Small-Sized Electric

Vehicle (Side View)



Figure 18 Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle (Back View)

DISCUSSION

Hand-Made Small-Sized Electric Vehicle

There are a variety of technical matters to be solved. The weight, speed, and control are the main items to be further studied. The original target of the weight was not clarified, and the weight after manufacture is about 350kg. The weight reduction should be studied by making a parts list with individual weights and then by seeking lighter ones. The speed depends on the motor. Since the team selected the motor by considering the ability of control and data acquisition, the selected motor was not the one which has enough power for the vehicle. If the team selects a 14kW motor, which was used for the 1998 Shikoku Electric Vehicle Rally, the power will be sufficient, unless the team care about the ability of data acquisition. The motor selection is a matter to be studied. The control of the two wheels rotational speed on curves is not complete. The team was able to make a two-stage control of 100% and 90% for the two-wheel speed difference. The control of driving and braking should also be further considered.

Capstone Design and Manufacture Project

As a project for 4th year students, the project requires manufacturing as well as design. The theme and target of the project are in students' hands. In other word, they need to consider the theme and target by themselves. The instructor thinks that the project should not be restrained by those in the research field, since the faculty' discipline is normally in a small area of the academic research field. The project should be aimed at the real world, and manufacturing is of great importance in mechanical engineering.

The team selected the project of a hand-made small-sized electric vehicle, which needs design and manufacturing as well as knowledge of automobile technology and how to make the vehicle. The faculty played the role of supporter, and is not able to teach the automobile technology. The team needed to find the related parts and to study how to design and manufacturing by themselves. The team needed to negotiate with the people from the welding shop and parts

makers.

Although the completed vehicle was not the one that the team originally wanted, since the weight, power, and control need to be modified, the team succeeded in producing a real product. The project theme was considered to be appropriate in a sense for the study for 4th year students in mechanical engineering.

CONCLUDING REMARKS

As a capstone design and manufacturing project, the team of five 4th year students were challenged to design and manufacture a hand-made small-sized electric vehicle. The obtained results are as follows.

The hand-made small-sized electric vehicle was completed, although many technical matters still need to be solved. The weight, speed, and control are the main items to be further studied.

As a project, the team considered their theme and target. The faculty was a supporter for this project from the viewpoints of funding and suggestions. The team completed the vehicle by themselves.

The project theme aimed at manufacturing as well as design. In a design process, computer graphics were effective for the group discussion. Although the design detail was not sufficient for manufacturing due to students' inexperience in design ability, the team obtained experience on how to produce a product with their own drawings.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors greatly acknowledge the people who performed the welding work in the shop (Fukutome Kogyo). The authors would also like to express their sincere thanks to Professor Hiroshi Nomura for his kind guidance on electric vehicles.

The team also expresses sincere thanks for the support from the Kochi Prefecture budget of the related 'Karakuri Project'.

REFERENCES

- 1) Haruo Sakamoto, Kazuhiro Kusukawa, Jens Jorgensen, Mechanical Engineering Education for 1st Year Seminar Using Real Products, ASME, DE-Vol.102, (1999), p13-17.
- 2) David Greene. "LATCH: a syllabus design for EFL instruction in CALL" in Computer Assisted Language Learning (Lisse, The Netherlands), 11, 4, 381-96.
- 3) Lawrie Hunter. "Text nouveau: visible structure in text presentation" in Computer Assisted Language Learning (Lisse, The Netherlands), 11, 4, 363-79.
- 4) Haruo Sakamoto, Extracurricular Education and Experimental Course Using Electric Vehicles, ASEE 2001, to be presented.

風力発電機の構造と磁場解析

内野喬誌（高知工科大） 正 坂本東男（高知工科大）
 正 松岡順一（高知工科大）

1. 緒言

近年、永久磁石を用いた小型風力発電機の開発が進められており、数多く市販されている。しかし、市販されている発電機を分解して比較検討を行ってきたが、統一された設計思想は見受けられず、多種多様である。そこで、低風速域からでも発電可能で効率の良い発電機を得るための最適な磁場分布を解析によって求める基礎研究を開始した。

本研究室では対向に配置した磁石間にコアレスコイルを通過させる風力発電機を試作したが、それをモデルに実験と解析の比較により磁束密度が最大となる最適な配置を、実験結果と計算結果との比較により導き出すこととした。

2. 実験及び解析方法

2-1. 磁束密度の計測

図 1 に示すような磁石の配置で実験を行った。磁石は $iHc=14.5 \times 10^4$ A/m のフェライト磁石を使用し、各々鉄製のバックヨークに貼り付けた。磁場の漏れの影響を考慮して 5 組の磁石を並べ、磁石間ギャップ L と隣り合う磁石の間隔 D を変えた条件で、中心にある一組の対向する磁石間のギャップ磁束密度を Gauss メータで計測した。

2-2. 解析モデル

計測結果と比較する為、磁石が無限に連続して配置されているモデルで 2 次元の静磁場解析を行い、ギャップ磁束密度を求めた。物性値として、鉄の比透磁率 $\mu_r=1000$ 、空気の比透磁率 $\mu_r=1$ 、磁石の比透磁率 $\mu_r=1.05$ とし、磁化の値は 14.5×10^4 A/m とした。

また、図 2 に示すように磁石を隙間なく並べた場合と、間隔を開けた場合について解析を行い、ギャップ磁束密度に有効な磁石の幅を求めた。

3. 結果及び考察

図 3 に L と D を変えたときのギャップ磁束密度の測定値及び計算値を示す。

全体の傾向として、 L が小さい場合磁束密度が大きくなり、 $D=0$ よりも $D=5$ の方が磁束密度が大きくなり、それ以上ではあまり変化が見られない。また、対向する磁石間の距離が狭くなるほど誤差が大きくなっており、最大 5 割程度値の開きがあるが、傾向としては類似している。

図 4 には隣り合う空気領域になるべき D の値の増加分を、磁石領域の増大に当たった場合の計算結果を示す。磁石領域を拡大するとギャップ磁束密度が高くなる傾向が見られるが、 L の値が 5~10mm より小さくなると、磁石の幅を広げてもあまり効果がないことが分かった。

4. 結言省略

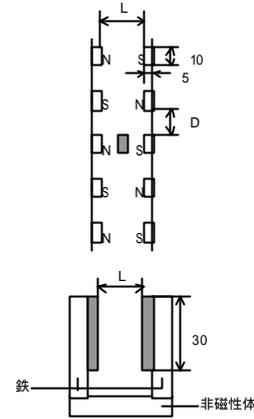


図 1 磁石の配置及び寸法(単位:mm)

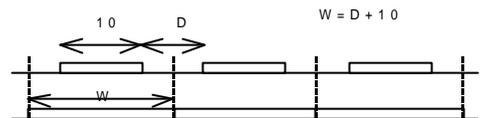


図 2 磁石幅を最大に取った配置

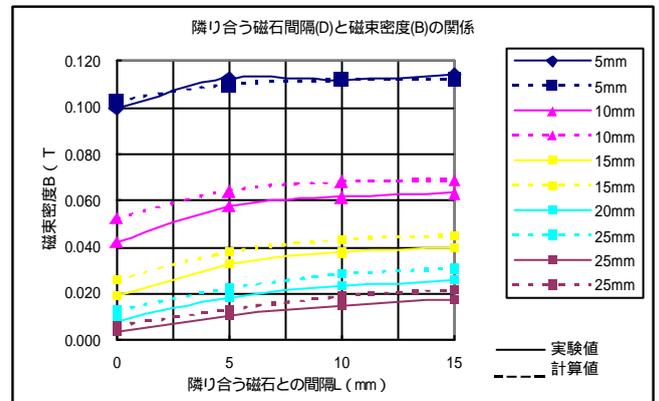


図 3 ギャップ磁束密度の計測

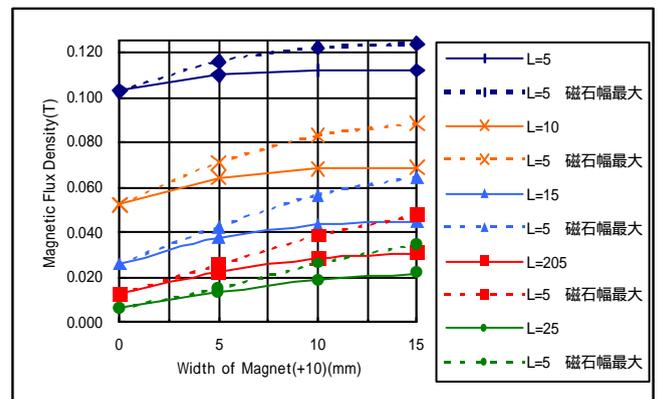


図 4 磁石幅を最大に取った場合の磁束の計算値