



380V DCバスから下流の1Vプロセッサへ： 高効率電力変換ソリューション

SC'07, Reno NV, 11-14-07



Stephen Oliver, V·I Chip Inc.
soliver@vicr.com, +1 978 749 3256



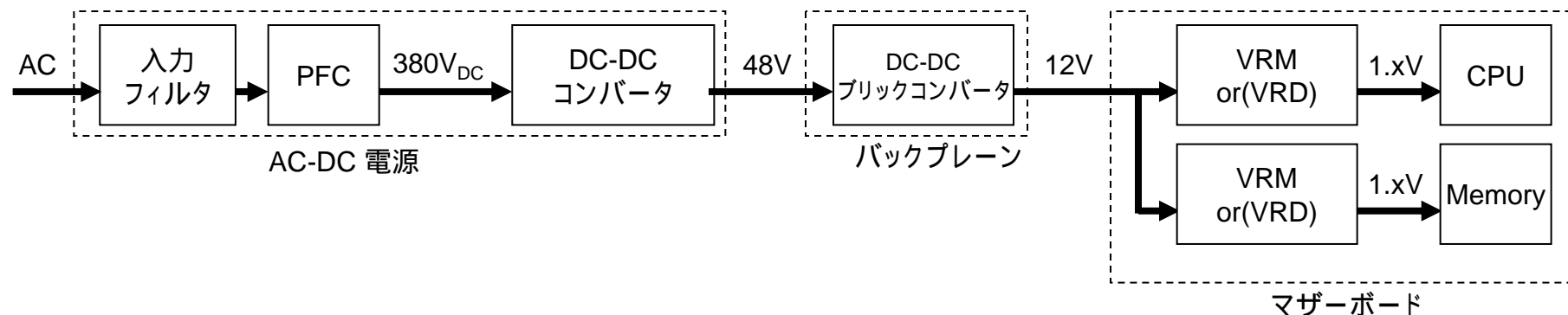


要旨

- 大幅な構造的見直しなしでは、データセンターの電力消費量は2011年までに1兆kWhに達する可能性があるi。さらに、非効率な電力および空調技術によってムーアの法則が崩壊する可能性があるii。
 - 効率を向上させる方法の1つとして、高電圧DC配電の採用が提案されているiii。これにより、AC – 384V段階をバイパスして、データセンターの配電バスから下流のサブシステム(ブレードなど)へ直接給電することができる。ここでは、以降のステップを説明し、そして、HVバスからプロセッサおよび低/中/高電力負荷への高効率かつ高出力密度の電力変換ソリューションを提案する。
 - 基準サブシステムは総負荷1320Wで設定する。6個のプロセッサ(各1V、120A)
 - 6個のメモリ(各1.5V、50A)
 - その他の負荷(12V、12.5A)
 - 可能な変換方法として、バスコンバータ、同期式バックコンバータ、およびサインアンプリチュードコンバージョン技術にするV·I Chips コンバータを使い、380V-12V-1V変換、および380V-48V-1V変換を検討する。
 - 効率、電力密度、および年間電力費用を比較する。
- i. “Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency” (p56), U.S. EPA ENERGY STAR Program, Andrew Fanara, August 2, 2007
- ii. “The Invisible Crisis in the Data Center: The Economic meltdown of Moore’s Law”. Kenneth Brill, Uptime Institute, 2007
- iii. “DC Power for Improved Datacenter Efficiency”, Ton (Ecos), Fortenbery (EPRI) & Tschudi (Lawrence Berkeley National Labs), January 2007.



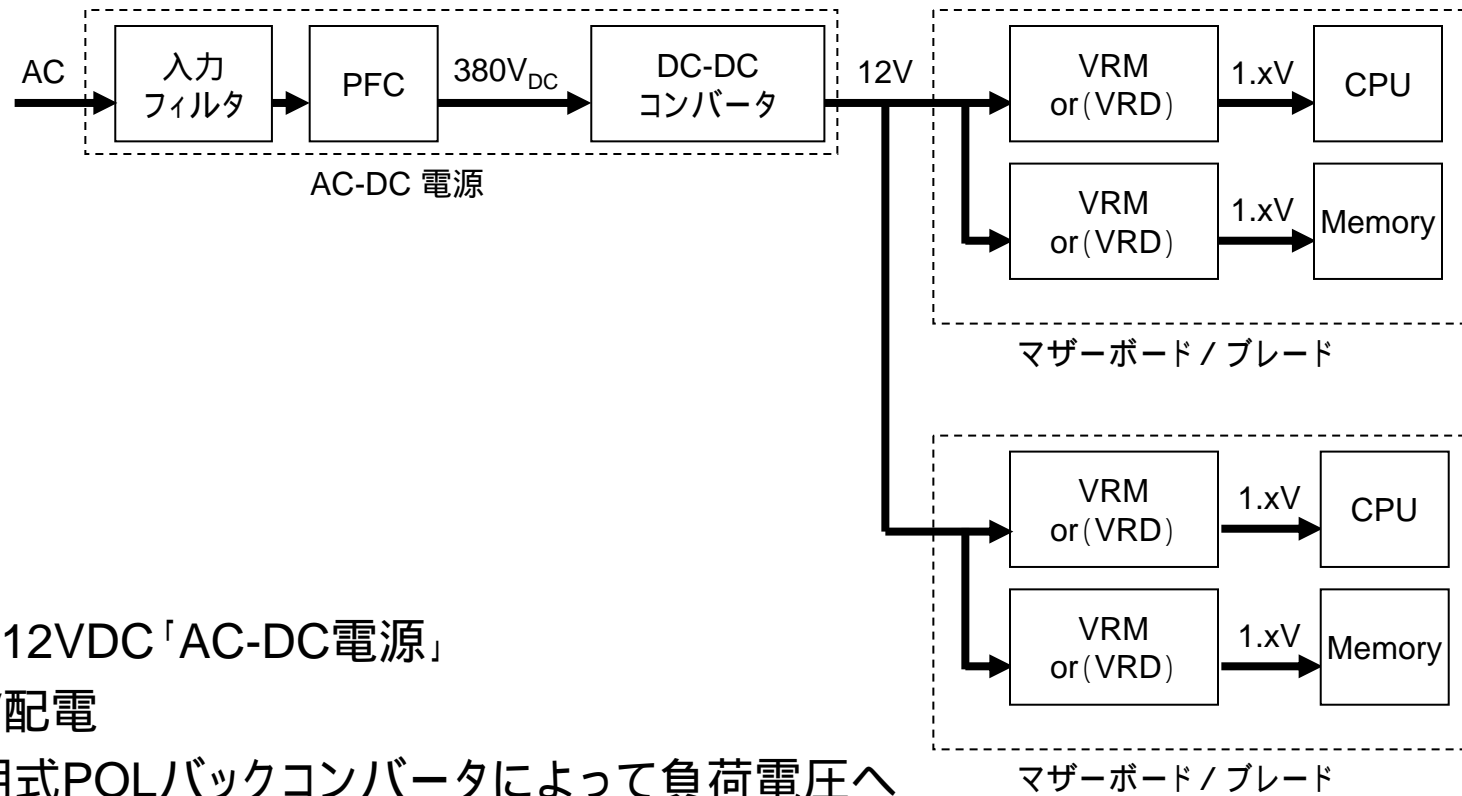
「初期の」従来型大電力システム (IBA)



- AC-48VDC「AC-DC電源」 + 48-12V DC-DCコンバータ「Brick」 + VRM/VRDから負荷
- 設計時：
 - 高効率(最大65%)、小型、費用対効果に優れていた
 - 1.5-2.5Vプロセッサへの給電 - エネルギーコストには関心を払わなくても良かった
- その後：
 - AC-12V出力のAC-DC電源、およびVRMの効率 / 電力密度が改善された
 - IBAバスコンバータは高価で不要と考えられるようになった
- 結果として、12Vのみのバスの利用が増えた



「最近の」従来型大電力システム(12V)



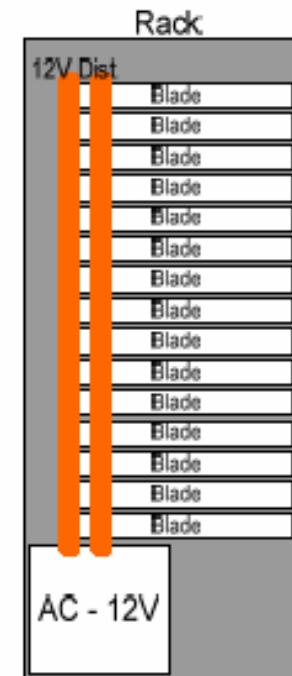
- AC-12VDC「AC-DC電源」
- 12V配電
- 同期式POLバックコンバータによって負荷電圧へ



12Vバスの長所と短所

- 12Vバスの長所
 - 既に確立されている
 - 高い実績がある
 - マルチソースである

- 12Vバスの短所...
 - 効率が悪い
 - 配電損失、コネクタ損失
 - 同期式POLバックコンバータは入出力電圧差が大きいと効率が低下する ((特に1V負荷の場合)
 - 高コストである
 - 大型のコネクタ、重いバスバー、大量の銅、高い電気料金
 - 時代遅れである
 - 新システムで使用する理由: 「単に現在も利用しているから」、
「従来型の負荷装置 (例: 12Vディスクドライバ) に使用するから」





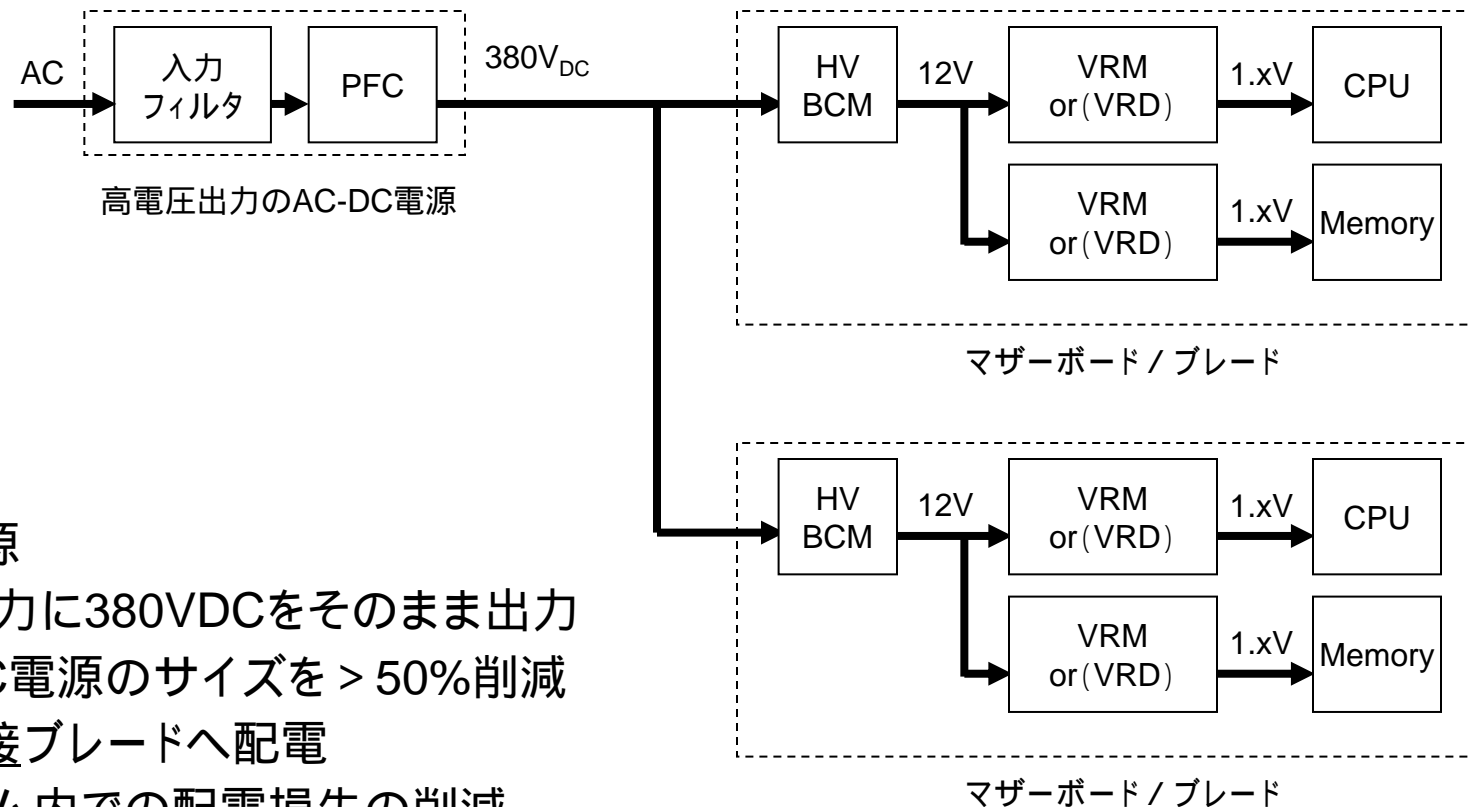
効率の改善

- より高いバス電圧 (380VDC*もしくは48VDC)
- 48Vから下流1Vへ直接変換
- 従来型の負荷装置または低電力負荷用に12Vを提供

* "DC Power for Improved Datacenter Efficiency", Ton (Ecos), Fortenbery (EPRI) & Tschudi (Lawrence Berkeley National Labs), January 2007.



改善 # 1 : 380Vをブレード / マザーボードへ

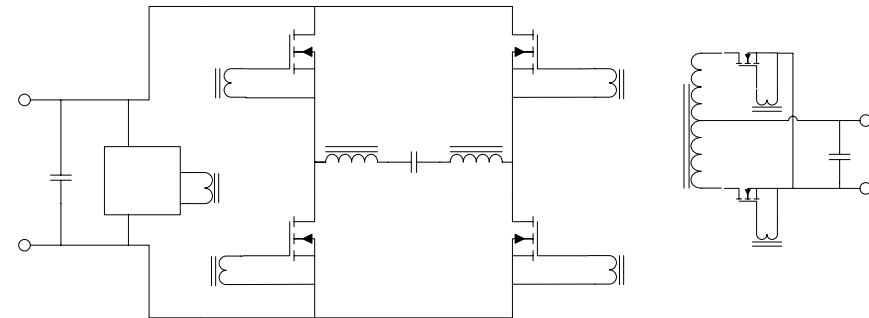


- AC-DC電源
 - PFC出力に380VDCをそのまま出力
 - AC-DC電源のサイズを > 50%削減
- 380Vを直接ブレードへ配電
 - システム内での配電損失の削減
(380VでのI²R損失は12Vの場合の0.1%)
 - コネクタのサイズとコストの最小化
- ブレード上での380-12V変換
 - 12V配電の長さを最小化



HV DC-DC変換

- バスコンバータモジュール(BCM)
 - 絶縁型、変換比 =
出力電圧 / 入力電圧 = 一定
 - 直流トランスとしての変換機能



- サイン・アプリチュード・コンバータトポロジ
 - ZVS, ZCS, >1MHzのスイッチング周波数

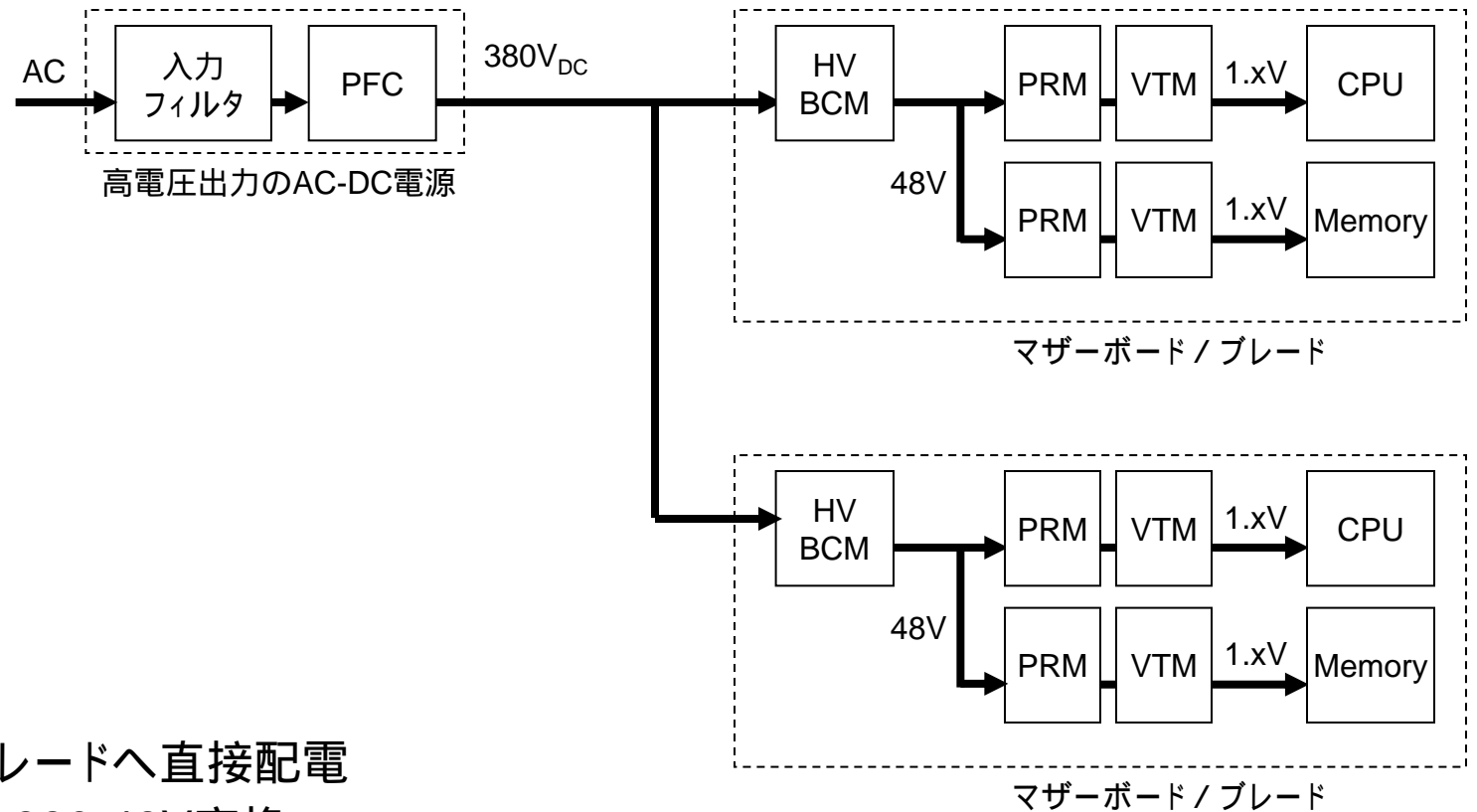
U.S. and Foreign Patents and Patents Pending

- 384:12V = 300W @ 95.5%
- 384:48V = 330W @ 96.5%
- 形状(実装面積7.15cm², 電力密度 > 63w/cc)
 - 32.5 × 22.0 × 6.6mm
 - 15g





改善 # 2: 48Vから負荷へ直接変換



- 同じ380Vをブレードへ直接配電
- ブレード上での380-48V変換
- 負荷で48-1.xV変換する最高効率の最小コンバータ
 - ブレード上での12V配電損失を最小化



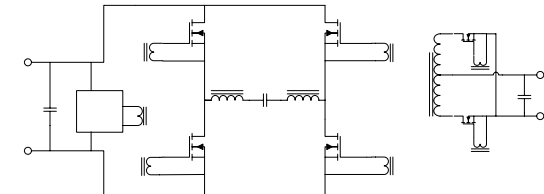
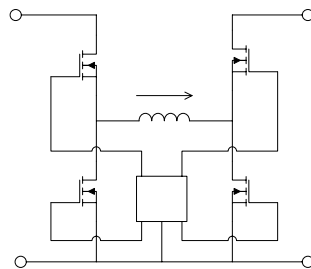
48Vから負荷へ直接変換

Pre-Regulator Module (PRM)

- Non-isolated, regulator
- ZVS Buck – Boost Topology
 - ZVS, >1MHz switching
- Performance
 - 320W in 1.1in² package
 - Power Density >1,100W/in³
 - Efficiency = >97% at 320W out
- Input : Unregulated 48V
- Output : Regulated (26-55V) → VTM

Voltage Transformation Module (VTM)

- Isolated, voltage transformer
- Sine Amplitude Converter Topology
 - ZVS, ZCS, >1Mhz switching frequency
- Performance
 - Up to 100A in 1.1in²
 - >96% Efficient at 300W out
- Input : Regulated 26-55V from PRM
- Outputs : 0.8 - 55V, up to 100A (13 models)



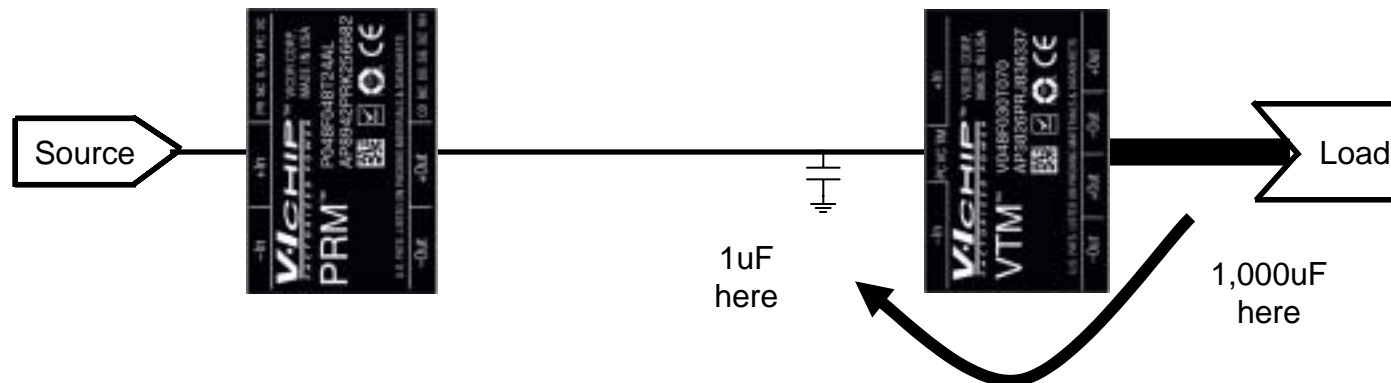
- *PRM + VTM = Isolated, regulated, voltage transformation direct to load*

SC'07, 11-14-07



かさばらず省スペースなDC - DCコンバータ

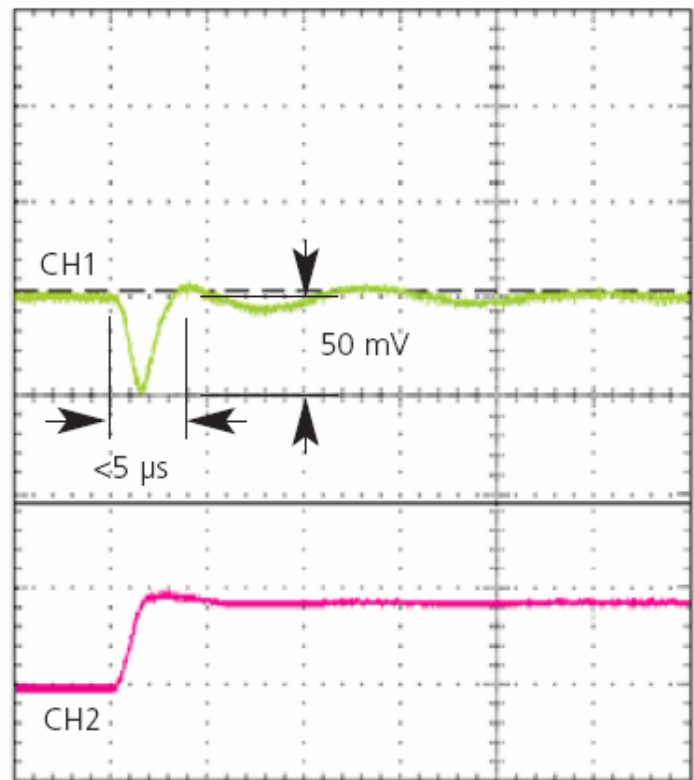
- 2つのV.I Chipを使って48Vから負荷へ直接変換
- PRMは遠くに配置できる
 - マザーボード上または負荷近くのスペースを拡大
 - 負荷での電力損失の減少
- 負荷点(POL)でのバイパスコンデンサをVTMの入力へ移動
 - 静電容量をVTM変換比の二条に比例して減少
 - スペースの拡大とコスト削減





一過性の反応

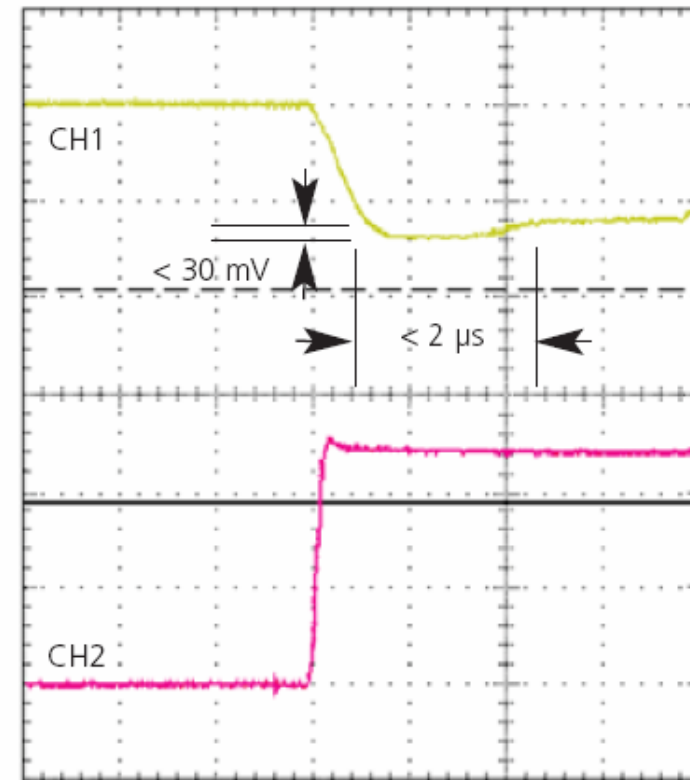
Load Step Recovery



CH1: V_{OUT} 50 mV/div Timebase: 5 μs
 CH2: I_{OUT} 50 A/div

48 V_{IN} , 1.2 V_{OUT} , 0-40 A at 10 A/ μs
 Less than 50 mV undershoot and recovery
 in <math>< 5 \mu\text{s}</math> using 330 μF ceramic C_{OUT} .

Load Line Recovery



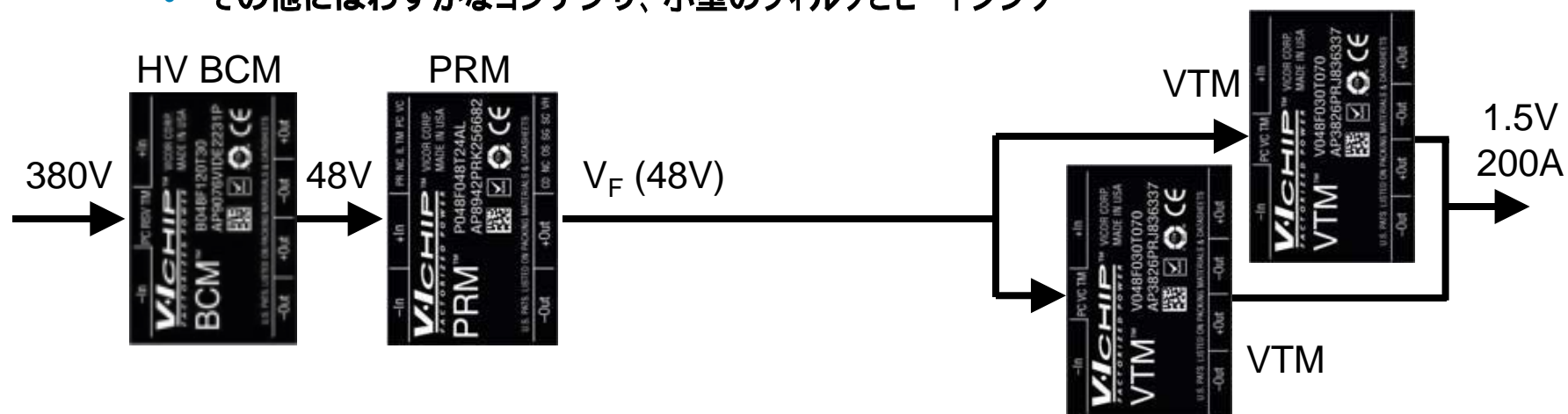
CH1: V_{OUT} 100 mV/div Timebase: 1 μs
 CH2: I_{OUT} 40 A/div

48 V_{IN} , 1.2 V_{OUT} , 0-100 A at 600 A/ μs
 Less than 30 mV undershoot and recovery
 in <math>< 2 \mu\text{s}</math> using 220 μF ceramic C_{OUT} .



伝導機構と配電の効率

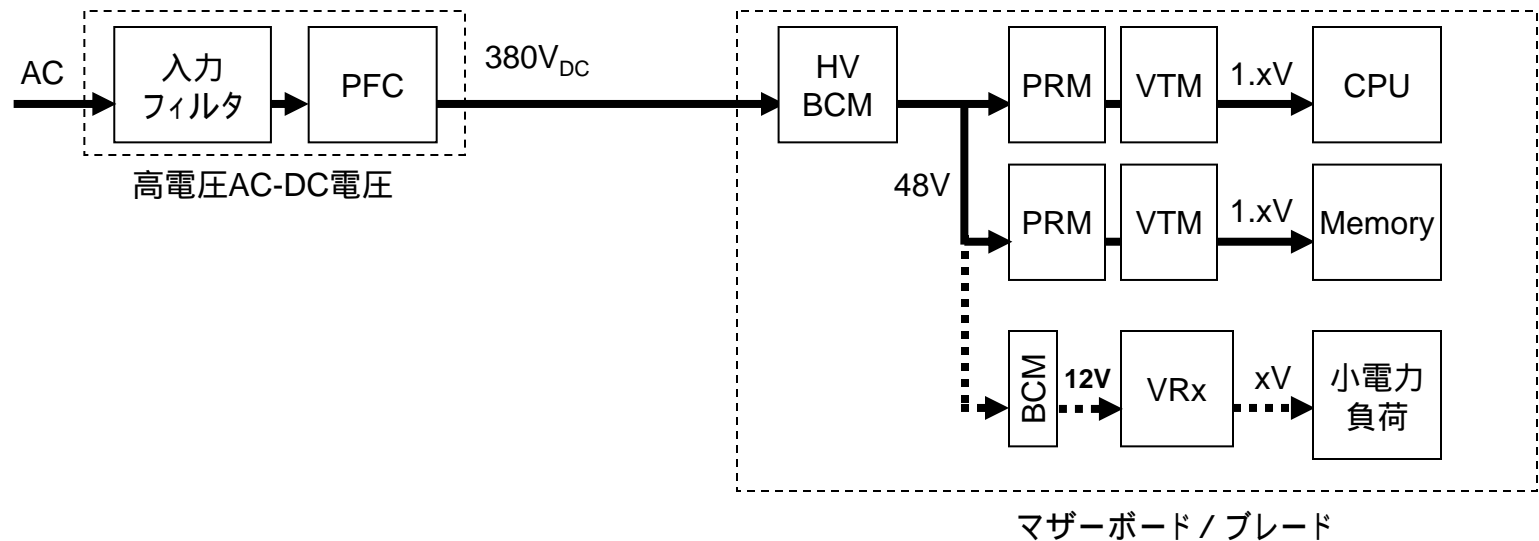
- 380Vから負荷までの高い変換効率と最小の実装面積
- 380Vから1.5Vへの変換 (200A)
 - 380Vから負荷までの全効率 = 85.2%
 - 96.5% x 97% x 91%
 - PCB上の電力コンポーネントの総実装面積 = 28.6cm² (4チップソリューション)
 - その他にはわずかなコンデンサ、小型のフィルタとヒートシンク



- HV BCMおよびPRMを同一場所に配置、負荷にはVTMのみ配置
= 配電効率 (I²R) の最大化と負荷での占有スペースの最小化



従来からの負荷装置 / 小電力負荷



- 48Vから降圧して従来から使用している負荷装置 / 小電力負荷用に12Vを生成
- シンプルな電圧変換比一定のDC-DCコンバータ



システムの比較

- “システム”
 - ブレード/マザーボードの内容:
 - 6個のプロセッサ (各1.0V、120A)
 - 6個のメモリ (各1.5V、50A)
 - その他の負荷 (計12V、150W)
 - 基礎構造:
 - 30個のブレード/マザーボード
 - ボードのインピーダンス1.5m
 - ラックの配電インピーダンス2.0m
 - 運用:
 - デューティサイクル = 65%
 - 空調設備 = 効率50%
 - 電力料金 = 1kWhrにつき\$0.1028*

- システム:

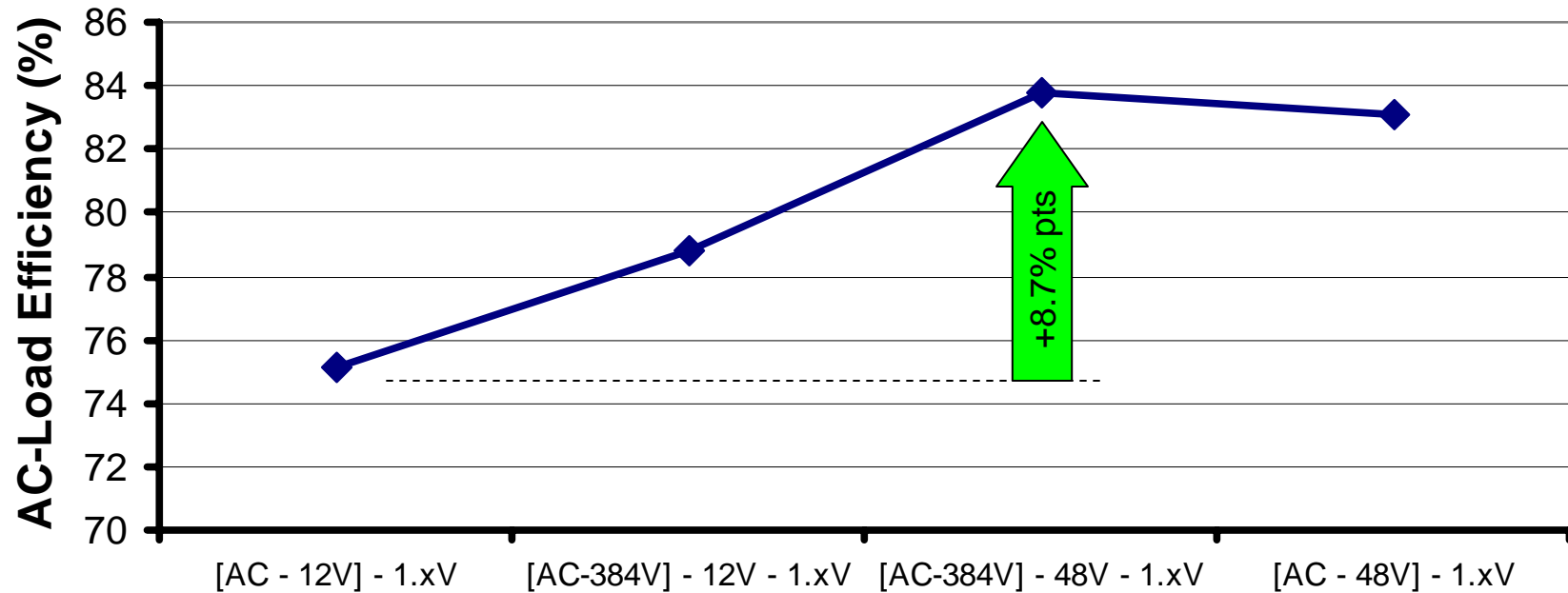
-	AC 12V		1.xV	(ベースライン)
-	AC - 384V	12V	1.xV	
-	AC - 384V	48V	1.Xv	
-	AC 48V		1.xV	

[...] = AC-DC電源ブロック

* Nevada industrial electricity price July '07 (http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epm/table5_6_a.html)



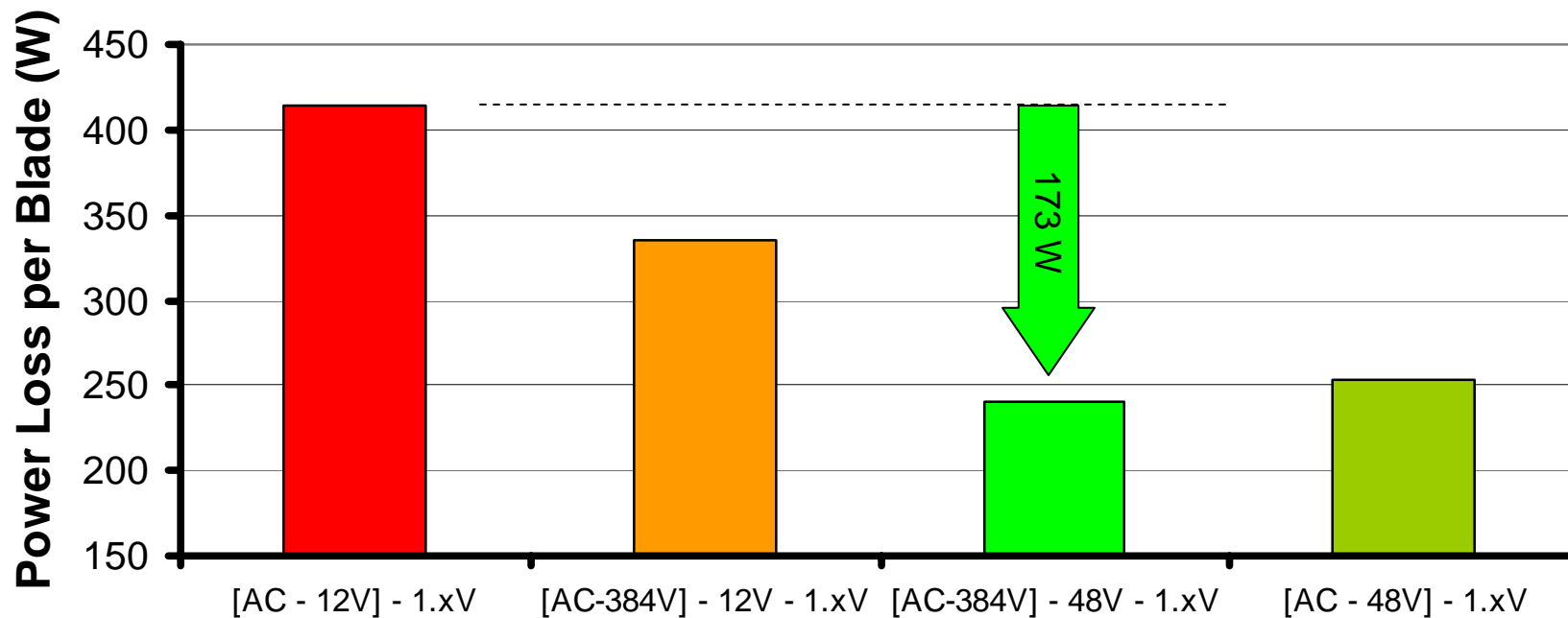
効率の比較: ACから負荷まで



- すべての場合において、より高い電圧を適用すると効率が向上する
- ラック内で380V、ブレード/マザーボード上で48Vの場合に最高効率になる
 - 基準より8.7%ポイント 高い
- 380Vから負荷までの効率の向上はAC-DC電源(入力をMIフィルタ+PFC)の小型化を意味する。



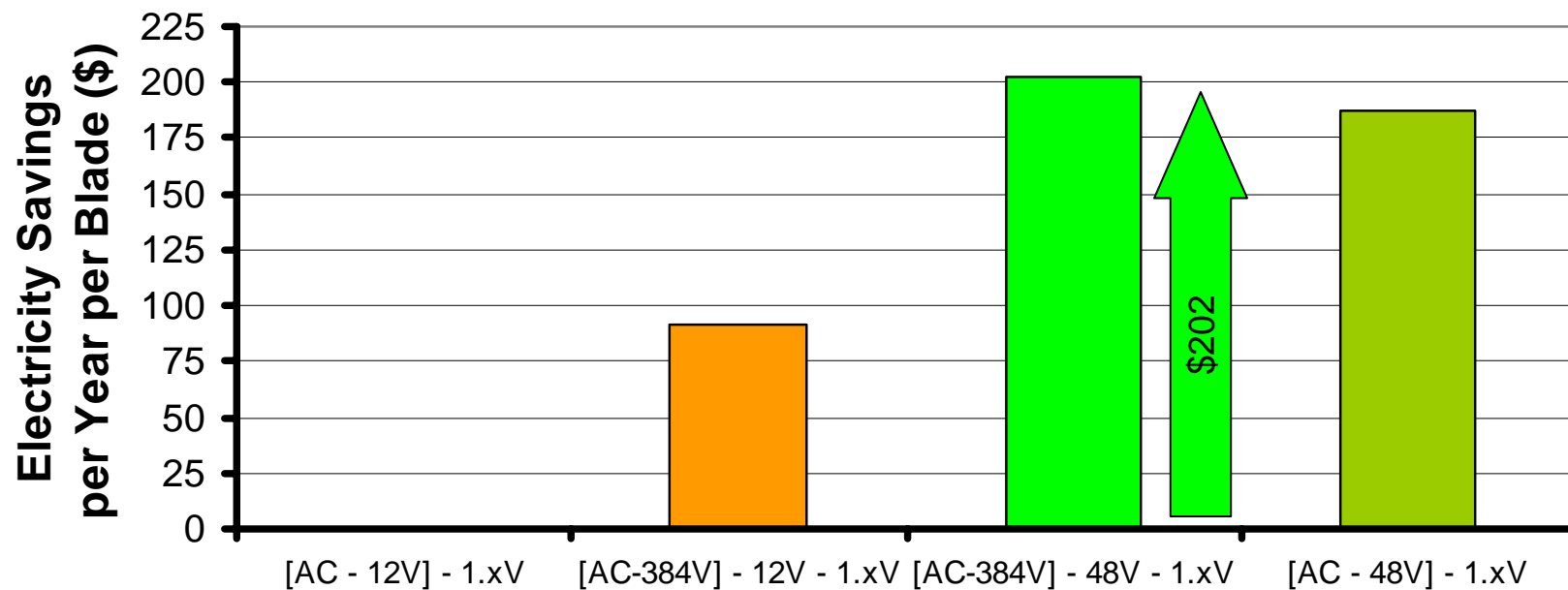
電力損失(1ブレード/マザーボードあたり)



- 基準に比べ1ブレード/マザーボードあたり173W減少



電力料金の削減(1ブレード/マザーボードあたりの年間削減額)



- ラック内で380V、ブレード/マザーボード上で48Vの場合にコスト削減額が最大になる
(1ブレード/マザーボードあたりの年間削減額は\$202)



おわりに

- 高電力コンピュータ用途において、12Vのみの配電システムでは次のような制限がある。
 - 負荷電圧がより低く、負荷電力がより大きくなる傾向にある
 - 同期式バックコンバータは入出力電圧差が大きいと効率が低下する
 - I²R配電損失の増加
- より高い電圧(380Vおよび48V)の配電によって配電損失は大幅に減少する
 - 48Vから負荷への直接変換によって高効率と小型化を実現
 - 12Vバスの基準モデルに比べて最大8.7%ポイントの効率向上が可能
 - 運用コストの大幅削減



参考文献

- “Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency” (p56), U.S. EPA ENERGY STAR Program, Andrew Fanara, August 2, 2007
- “The Invisible Crisis in the Data Center: The Economic meltdown of Moore’s Law”. Kenneth Brill, Uptime Institute, 2007
- “DC Power for Improved Datacenter Efficiency”, Ton (Ecos), Fortenbery (EPRI) & Tschudi (Lawrence Berkeley National Labs), January 2007
- “Datacenter Power Delivery Architectures : Efficiency and Annual Operating Costs”, Yeaman (V.I Chip), Digital Power Forum, September 2007



Thank you

Questions & comments?

Visit the V.I Chip booth (#832) for a live 380V-0.8V demo

