

エネルギー消費の現状

松下 温
(資源エネルギー庁、エネルギー調査会、電子計算機およびルータ小委員会委員長)

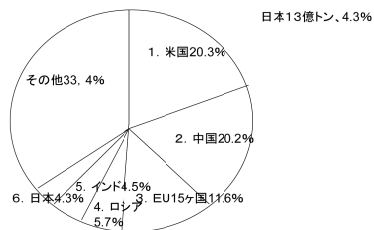
京都議定書

- 1997年12月COP3(気候変動枠組み条約、第3回締約国会議)が開催され、京都議定書としてとして先進国の温室効果ガスの削減目標が合意された。日本は温室効果ガス全体を2008年から2012年の平均値で、1990年に比して-6%削減することになっている〔米国-7%、EU-8%〕

温室効果ガス排出量03年)

1. アメリカ.....22.8%
2. 中国.....16.4%
3. EU15国.....13.3%
4. ロシア.....6.3%
5. 日本.....4.9%
6. インド.....4.3%
7. カナダ.....2.1%
8. 韓国.....1.8%
9. メキシコ.....1.6%
10. オーストラリア・1.4%

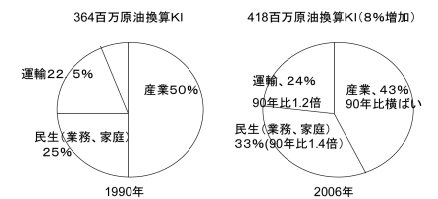
温室効果ガス排出量(280億トン)(06)



CO2削減へ向けた各国の姿勢

- 京都議定書には1位と2位の米国と中国が参加しなかった
- 米国は20年の目標より50年を強く意識、ガス排出削減に努めない国からの輸入品に「炭素税」を課す方向でただのりに圧力(BRICS)
- 日本は50年に50%の削減を
- 欧州は先進国に20年までに30%新興国に15%~30%削減
- 新興国にただ乗りを許さないで、いかに説得するかが鍵(中国、インドを刺激せずに)[中国は景気刺激策の40%が環境対策]

部門別エネルギー消費



産業部門へ施策

- ・熱管理指定工場
 - ・第1種: 3000KI以上
 - ーエネルギー管理者の選任義務
 - ー省エネ中期計画の提出義務
 - ーエネルギー使用状況の定期報告
 - ・第2種: 1500KI以上
 - ーエネルギー管理員の選任
 - ー使用状況の定期報告

産業部門の施策2

- ・電気管理指定工場
 - ・第1種: 1200万KWh以上
 - ・第2種: 600万KWh以上
- ・電気と熱を合算して規制(07年4月)
 - ・第1種: 3000KL以上
 - ・第2種: 1500KI以上

指定工場数(06. 3~07. 3)

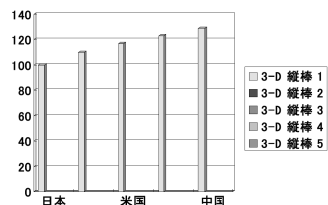
2006年3月末

	工場	事業所	合計
第1種	4403	1207	5610
第2種	3245	2334	5579
合計	7648	3541	11189

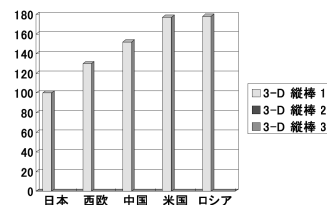
2007年3月末

	工場	事業所	合計
第1種	5594	1863	7457
第2種	3427	2667	6094
合計	9021	4530	13551

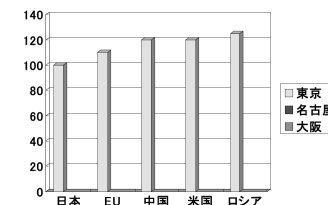
産業部門の状況(火力発電1KWhを作るのに
必要なエネルギー指数)(日本(100)、ドイツ、
米国、フランス、中国)



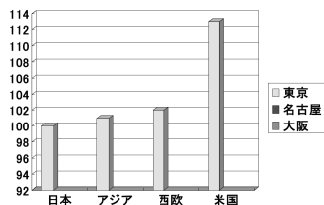
セメント(1トン)消費効率(日本(100)、西
欧、中国、米国、ロシア)



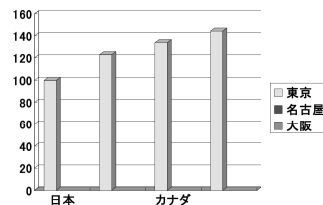
鉄(1トン)消費効率(日本、EU、中国、米国、ロシア)



石油製品1KI(日本、先進アジア、西欧、米国)



紙・板紙1トン消費効率(日本、スウェーデン、カナダ、米国)



運送部門の状況

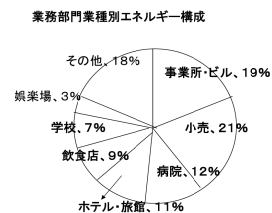
- ・ 特定輸送事業者(以下の輸送能力を有する)

輸送機関	指標	貨物	旅客
鉄道	車両数	300両	300両
自動車	台数	200台	バス、200両 タクシー350台
船舶	総船腹量	2万総トン	2万総トン
航空機	総最大離陸重量	9000トン	

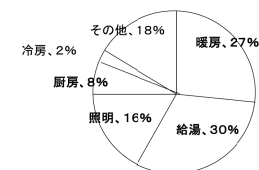
特定輸送事業者、特定荷主

- ・ 特定輸送事業者の指定状況(07. 3)
- ・ 鉄道、トラック輸送、バス、船舶(貨物、旅客)、航空など641社を指定
- ・ 特定荷主
 - 一貨物輸送を委託している量、年間3000万トンキロ以上
- ・ 産業部門の指定事業者同様、定期報告と計画書の提出が求められる。

業務部門(オフィスなど)(05)



家庭部門エネルギー消費



住宅・建築物に係わる措置

- 床面積2000m²以上の非住宅の新築、大規模修繕を行うものへの省エネ措置の届出義務付け(06年4月)
- 2000m²以上の住宅の届出義務(06.4)
- **300m²**以上の住宅省エネ届出義務(09.4)
- フランチャイズチェーンも事業者と捉え、事業者単位の規制と同様の規制を導入〔09.4〕

住宅の省エネ改修にかかわる投資型 減税制度

- 太陽光発電設備を含め、省エネ住宅の普及を加速する税制支援の強化
- 対象となる省エネ改修工事に、工事費の10%を所得税から控除、工事費用は200万円を限度、太陽光発電設備は300万円を限度
- 対象となる工事
 - 一窓の改修
 - 一窓の改修＋床、天井、壁の断熱
 - 一窓の改修＋太陽光発電の設置
- 住宅ローン減税の拡充・延長〔10年間〕

トップランナー制度

- 省エネ法に基づき、家電製品や自動車の省エネ基準をトップランナー方式により定めている、製造業者に基準を遵守する義務が課されている。
- トップランナー方式とはそれぞれの機器において現在商品化されている製品のうち最も優れている機器の性能以上にする考え方。
- 21品目(95年以降順次追加):乗用車、貨物自動車、エアコンディショナー、TV受信機〔ブラウン管、液晶、プラズマ〕、ビデオテープレコーダー、蛍光灯、複写機、電子計算機、磁気ディスク、電気冷蔵庫、電気冷凍庫、ストーブ、ガス調理器、ガス温水器、石油温水器、電気便座、自動販売機、変圧器、ジャー炊飯器、電子レンジ、DVDレコーダ
- ルータは2010年から適用

電子計算機と磁気ディスクの省 エネ化動向

松下温
経済産業省エネルギー調査会、基
準部会小委員会委員長

パソコンの市場動向

- 国内パソコン年間出荷台数は1000万強で推移、05年以降ノートパソコンの比率が高まり07年には6割強になった。
- 03・・・10578(千台)
- 04・・・10654
- 05・・・11122
- 06・・・10276
- 07・・・9301(統計参加社数15から13へ)

タイプ別出荷台数

年度	台数(千台)		
	パソコン		ワークステーション
	デスクトップ	ノート(ノート比率%)	
03	4694	5884(55.6%)	68
04	4655	5999(56.3%)	100
05	4636	6486(58.3%)	151
06	4007	6269(61.0%)	147
07	3266	6035(64.9%)	105

サーバ型電子計算機市場動向

- サーバ国内出荷台数は年々拡大してきた。
- 07年から統計参加者数は減少。
- 多様化する情報サービスへの要求が高まっている。IAサーバを中心に需要が見込まれる

サーバ出荷台数

年度	台数(千台)
2003	456
2004	534
2005	633
2006	660
2007	478

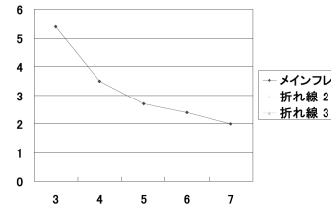
タイプ別サーバ出荷台数

年度	台数(千台)			
	メインフレーム	UNIXサーバ	IAサーバ	独自OS
2003	1.2	59	323	4.4
2004	1.2	60	369	4.1
2005	0.9	63	414	3.5
2006	0.9	59	450	3.2
2007	0.7	43	327	2.8

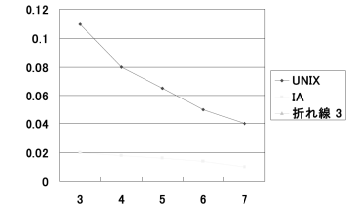
省エネの取り組み

- 1994年電子計算機「省エネ法」に指定される
- 2000年までに消費電力を規定値以下にする。
- 1999年改正省エネ法告示(対象範囲、区分エネ消費効率)。トップランナー方式採用、エネルギー消費効率として、レディーモード時消費電力/複合理論性能値採用(MTOPS:メガ演算)(2005年達成年度)
- 2006年改正され、2007年を達成年度とする。
- エネルギー消費効率を見直した(低電力時電力+アイドル時電力/2/複合理論性能値)

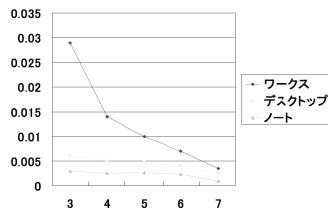
省エネ取り組み(W/MTOPS)(メインフレーム)



UNIXサーバ、IAサーバ(W/MTOPS)



クライアント電子計算機の省エネ(W/MTOPS)



省エネ化の動向

- UNIX, IAサーバは03年から07までに年率20~30%程度改善
- メインフレームは03年から07年にかけて約60%改善
- デスクトップは06年までに43%改善、ノートは高性能化を図りながら消費電力を抑えてきた
- 06年以降は省電力技術の変化に伴い(低電力時モード)、デスクトップ、ノートともに約50%の消費効率改善

省エネ技術の推移

- サーバ型は24時間365日はほぼ無停止で稼動するため、パソコンのようなスリープモードのような低電力モードへの遷移できないので、ハードそのものの低消費電力化とサーバ全体の運用による低電力化の技術が主流

ハードウェアの低消費電力化の動向

- CPU: マルチコア化 (Quadコア化更なる複数コア化)、不動作部分のパーシャルパワーオフ
- DIMM電源電圧の低下
- 電源: 回路トポロジーの改善 (共振コンバータ回路や同期整流回路)、シリコンカーバイドや窒化ガリウムなどの新素材電力スイッチング素子の開発
- ファン: 回転数を温度に応じて多段階制御
- ディスク: 2.5インチディスクの採用、SSDなどフラッシュメモリの採用
- 表示部にLEDバックライト

運用による低消費電力化

- 仮想化によるサーバの統合
- データセンタのファシリティと連動した空調制御
- 機器不使用時の省電力管理 (スタンバイ、休止への自動移行)
- ユーザが機器の機能の選択利用可能にすること

ルータの省エネ対策

松下温
総合資源エネルギー調査会
ルーターなど判断基準小委員会委員長

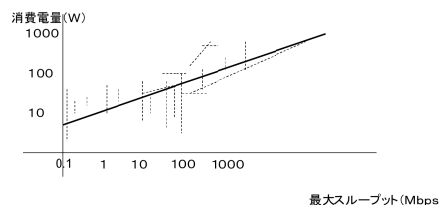
ルータ省エネ化の必要性

- ブロードバンドルータと呼ぶ年400万台のスピードで設置され累計2000万台を超えた。
- 24H, 365日電源を落とさないため、省エネは喫緊の課題となっている。
- キャリアーが使用する大型のものから、スモールオフィスや家庭で使用するものを区別して、小型ルータと呼ぶ。
- 小型ルータ200Mbps以下(無線ルータは100Mbps以下)と定義。

エネルギー消費効率および測定方法

- ルータ・スイッチにおいては、単位消費されるエネルギーの絶対量減らすことなく、基本性能指標である中継性能[スループット]との対比との対比における機器の省エネ化を図るという考え方に基づいている(CIAJに検討をお願いした)。

ルータ(消費電力と最大スループットとの相関)



ルータの各パケット時の消費電力測定結果

	伝送速度 Mbps/G	リンクアップ 時電力W	40バイト	238	494	1006	1500	
有線	35.4	8.40	8.53	8.51	8.50	8.50	8.53	
	38.7	7.70	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	
	108	5.40	5.32	5.33	5.34	5.37	5.32	
	1.75G	58.6	61.7	60.8	60.6	60.4	60.2	
	95.6G	370	482	427	409	401	398	
	382G	1328	1757	1539	1476	1445	1436	
無線	17.9M	11.7	12.2	12.1	11.8	12.6	12.2	
	20.4M	3.96	3.95	4.09	4.05	4.22	4.21	
	21.2M	6.68	7.25	7.34	7.20	7.27	7.39	

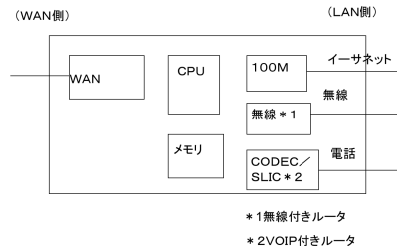
L2スイッチ消費電力測定結果

製品	能力 Gbps	リンク アップ時 電力(W)	各パケット長の電力効率(W/Gbps)				
			64バイト 消費(W)	256 (W)	512	1024	1518
A	0.5	3.2	3.2	3.2	3.0	3.2	3.2
B	1.6	6.0	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2
C	6.4	112.0	114.0	113	112	113	112
D	0.9	16.3	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
E	0.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
F	48.0	41.0	41.0	41.0	41	41	41
G	8.8	33.7	34.7	34.7	34.7	34.7	34.7

消費効率と測定方法

- 消費電力と最大スループットとの間に有意な相関がある(P4参照)
- 小型ルータにはその相関が顕著に見られないので、その消費電力(W)をエネルギー消費効率とする。
- パケット長により消費電力が異なることが予測されたため、代表的な5点で測定を行った。200Mbps以下の小型ルータとL2スイッチではPPT5、6のとうり消費電力に相違が見られないので、測定点を**1500**バイト長の一つにすることとした。

小型ルータの構造



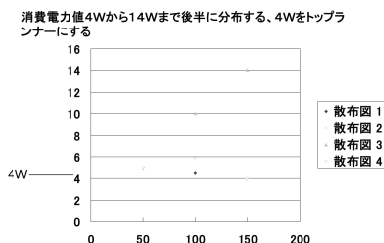
区分設定

- WAN側のインタフェース
- 2つのインタフェース(イーサネット、ADSL)
- 小型ルータに使用されるイーサネットは、長くとも100mの伝送距離に限定され、100Mbpsと速いが必要とされる電力は小さくて済む。
- ADSLは通信事業者の局舎から家庭までの長距離〔最大6km～7km〕の数10Mbpsの伝送を目的にしているため、長距離の伝送に適した変復調処理を高速のDSPにより実行している。イーサネットに比して多くの電力を必要としている。
- 消費電量の観点からWAN側インタフェースごとに区分する

区分の設定2

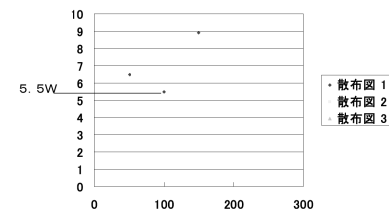
- LAN側のインタフェース
- イーサネットインタフェース
 - ADSL、モデム、光終端装置(ONT)の配下に接続できる汎用性の高いルータ(ここでは、有線ルータと呼ぶ)
- VOIPインタフェース
 - 有線ルータにVOIP機能を有し、電話機が接続できることでデータのみならず音声も接続できる(CODEC(Coder-Decoder)とSLIC(Subscriber-Loop-interface)の機能を備える)。この部分にはアナログ信号を処理する回路があり、別の電源を必要とする。有線ルータより消費電力が多く、区分を別にする必要がある(VOIPルータと呼ぶ)。
- 無線接続インタフェース
 - 無線LAN機を持つ、接続の容易さと廉価から普及している。IEEE802.11a,b,gなどと規格化されている。無線伝送のためのMAC、無線の送受信機が必要、有線ルータより電力消費が多い〔無線機能付きルータ〕

有線ルータ区分〔消費電力W, 最大スループットMbps〕

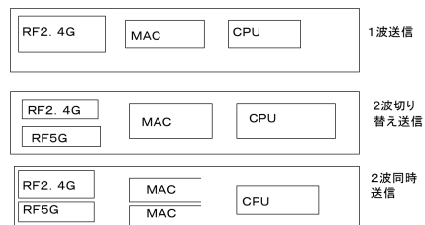


VOIPルータ(W, Mbps)

VOIPルータの測定結果から何点かノイズを除去して、5、5Wをトップランナーとする



無線ルータの構成



無線LAN消費電力

- 消費電力=RFの出力+無線MAC+基本機能
- RF出力: 無線出力[mW/MHz]と使用周波数によって消費電力は変動する。
- 無線MACはキャリアセンスの論理回路、消費電力は固定値
- ルータ基本機能: 消費電力は固定値、1波、2波同時か切り替えで変化する。

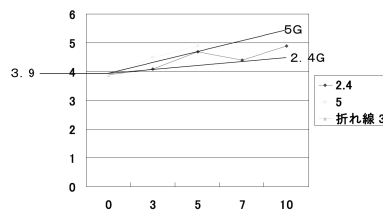
無線LANの消費電力

- 1波送信
 - 2.4G: $P = A2 * X2 + B2 + C$
(A2: 2.4GHz出力係数, X2: 2.4GHzの出力[mW/MHz])
 - 5G: $P = A5 * X5 + B5 + C$
(A5: 5GHz出力係数, X5: 5GHzの出力[mW/MHz])

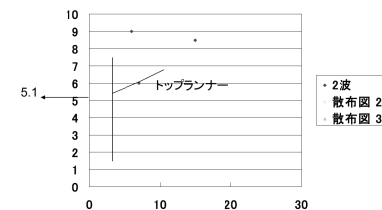
無線ルータ消費電力2

- 2波切り替え送信:
 - $P = A2 * X2 + B2 + C$
 - $P = A5 * X5 + B5 + C$
- 2波同時送信
 - $P = (A2 * X2) + B2 + (A5 * X5) + B5 + D$
 - Dは2波の送信のための固定値
 - 2.4GHz帯域: $P = (0.10 * X2) + 3.9$
 - 5GHz帯域: $P = (0.5 * X5) + 3.9$

無線出力波数の消費電力比較



無線2波同時消費電力(W, mW/MHz (無線出力))



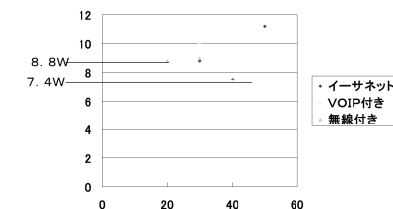
2波同時送信消費電力

- 前の図6Wをトップランナーとし、固定値(B2+B5+D)はそのトップランナーの実測地より5.1Wsとした。
- $P = 0.10 * X2 + 0.15 * X5 + 5.1$

小型ルータ区分

区分	WAN側インタフェース	LAN側インタフェース
A	イーサネット	イーサネット
B		VOIP付き
C		無線付き
D	ADSL	イーサネット
E		VOIP付き
F		無線付き

ADSL対応ルータ〔消費電力(W)、最大するープット(Kbps)〕



ADSLルータの分析

- イーサネットとVOIP付きルータとの有意な電力差ははく、トップランナー値を‘7.4W’
- 無線付きのルータのトップランナー値は8.8W
- 平成17年末まではADSL加入者も増大していたが、18年以降FTTHへの移行が進んでいる。現在〔20年末〕で、両者とも一千万加入程度で並んでいる。

トップランナー区分とトップランナー値

LAN側 \ WAN側	イーサネット	VOIP付き	無線付き
イーサネット	4.0W	5.5W	2.4G: $P = 0.10 * X2 + 3.9$ 5G: $P = 0.15 * X5 + 3.9$ 2波同時 $P = (0.10 * X2) + (0.15 * X5) + 5.1$ X2: 2.4GHz無線出力(mW/MHz) X5: 5GHz無線出力(mW/MHz)
ADSL	7.4W	7.4W	8.8W

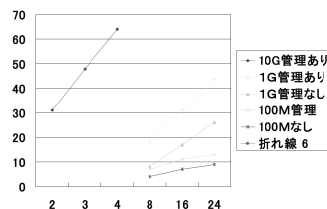
出荷台数(06年)

- A: 30万
- B: 70万
- C: 250万
- D: 6万
- E: 30万
- F: 3万
- 合計389万
- 06年出荷の実績値から算出したエネルギー消費効率6.09W
- 2010年の推定エネルギー消費効率5.10W
- 改善率16.3%

L2スイッチの区分設定と目標基準値

- L2スイッチの消費電力に影響を与える主な要因は通信回線の速度(1Gbps, 10Gbps, 100Mbps)とその通信回線を具備する数(ポート数)である。
- 付加的な電子回路を用いて実現する管理機能、IPアドレスのフィルタリング処理などの有無、PoE(Power over Ethernet)の有無などがL2スイッチの消費電力に大きく影響する。
- これらに基づく区分設定が必要になる。

L2スイッチ(通信回線速度と管理機能有無の比較)
縦軸:消費電力、横軸:ポート数



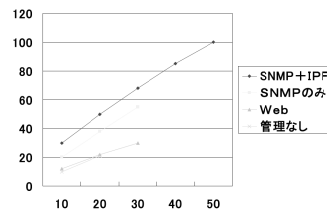
L2の区分設定

- L2スイッチには回線速度とポート数の多種多様な組み合わせが存在する(1G×48ポート + 10G×2ポート, 1G×24ポートなど)。
- 回線通信速度とポート数のすべての組み合わせを異なる区分にすることは区分数が増大して煩雑化する。
- 通信速度とポート数を変数に用いた関係式により消費電力の基準値とする。

L2スイッチの区分設定2

- 管理機の有無(SNMP(Simple network Management Protocol), Web管理機能など)は関係式で表現することは困難であるので、この有無を別区分とすることが適当。
- 回線速度を一定にして消費電力を実測した。SNMP対応の装置は消費電力が多く、Web対応は比較的消費電力が少なく、管理機能のないものはさらに消費が少なくなることがわかった。
- IPアドレス処理機能のうちIPフィルタリング機能は、セキュリティの強化や柔軟なネットワーク設計を目的に、送信元/宛先IPアドレス、プロトコル、ポートを参照して通信パケットをIPレベルでフィルタリングする機能である。高性能L2スイッチに装備されることが多くなっている。
- PPT30のようにこの機能の有無によって消費電力が異なる

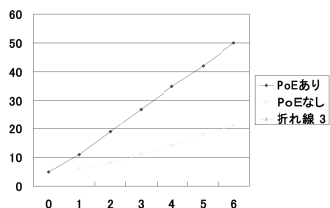
管理機能に有無による消費電力比較



L2スイッチの区分設定

管理機能の有無			区分名
管理機能 のある	SNMP機能 を持つ	IPフィルタリング機能持つ	A
		IPフィルタリング機能持たない	B
	Web管理機能 を持つ		C
管理機能 ない			D

L2スイッチ消費電力(PoEの有無) 横軸: スループット (Gbps)



L2の機能(PoE有無)

- PoEの有無により消費出力量が異なる。
- PoE対応装置では、ポートからの給電のための大容量の電源を具備することになり、ポートに給電する電力、電源が固定的に消費する電力が存在する。
- PoEの最大供給電力を変数として関係式にて表現することが可能のため、区分とはせずPoE対応装置の目標基準値を別途定めることとする。

L2スイッチの消費電力目標基準値

- 回線数とポート数による基準消費電力
 - 装置が固定的に必要なとする電力〔電源や基本回路が消費する電力〕
 - ポートが増大することによる増加する電力
- $$P = \alpha(n) \cdot X(n) + \beta(n)$$
- P: 消費電力、 $\alpha(n)$: 回線速度nの1ポートが消費する単位電力
 $\beta(n)$: 回線速度nの装置の固定的消費電力
 $X(n)$: 回線速度nのポート数

L2スイッチの消費電力2

- 複数種の回線速度が混在する場合(100M, 1G, 10G)
- $$P(\text{Mix}) = \alpha(100\text{M}) \cdot X(100\text{M}) + \beta(100\text{M}) + \alpha(1\text{G}) \cdot X(1\text{G}) + \beta(1\text{G}) + \alpha(10\text{G}) \cdot X(10\text{G}) + \beta(10\text{G})$$
- 固定的に消費される電力の1部の回路の共通化が図れるので以下ようになる。
- $$P(\text{Mix}) = \alpha(100\text{M}) \cdot X(100\text{M}) + \alpha(1\text{G}) \cdot X(1\text{G}) + \alpha(10\text{G}) \cdot X(10\text{G}) + \beta$$

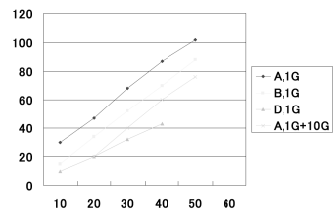
L2スイッチの係数 α

回線速度		100M	1G	10G
$\alpha(n)$		$\alpha(100\text{M})$	$\alpha(1\text{G})$	$\alpha(10\text{G})$
電力係数W/ポート	A	0.578	1.880	15.900
	B	0.375	1.880	—
	C	0.375	1.133	—
	D	0.272	1.133	—

L2スイッチ係数 β

回線速度	100M	1G	10G	100M+1G	1G+10G
$\beta(n)$	$\beta(100\text{M})$	$\beta(1\text{G})$	$\beta(10\text{G})$	$\beta(100\text{M}+1\text{G})$	$\beta(1\text{G}+10\text{G})$
A	3.976	9.940	0	2.276	0.576
B	3.400	-5.070	—	1.700	0
C	3.400	-2.074	—	2.447	1.494
D	0.824	-2.074	—	1.494	1.494

L2スイッチ消費電力(横軸スループット) (PoE無し)



PoEの基準値の考え方

- PoE装置はスイッチ機能と給電機能を複合したもの
- 「PoEありの装置は、PoEなしの装置にPoE機能を付加したもの」と捉える。
- 最大給電能力とL2スイッチ回路の消費電力比が16倍以内製品が主流であるので、16倍までの装置を対象とする。PoEの補正項(P_h)は以下
- $P_h = (0.0347 \cdot P_d / P_s / 1 - 0.0347 \cdot P_d / P_s) \cdot (\alpha n + \beta n)$
- P_d : PoE最大供給電力、 P_s : スwitchの消費電力