



低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

## 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.3)

—ネットワーク関連消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題—

令和3年2月

Impact of Progress of Information Society on Energy Consumption (Vol. 3):  
Current Status and Future Forecast of Network-Related Energy Consumption and Technical Issues

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2020-PP-04

## 概要

情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響について 2020 年度報告書 (Vol.2) ではデータセンターの消費電力増大について検討した。本提案書では、コア、メトロ、アクセス系ネットワーク構造等一定の前提を置いてネットワーク関連消費電力の推定を行い、どのような設備・機器が消費電力に大きな影響を与え、どのような課題があるかを検討した。

この結果、ネットワーク全体の消費電力は、2018 年に国内が 23 TWh、世界で 490 TWh と推定された。また年率 27% のトラフィックの増大と現状最新技術レベルの固定を前提とすると、消費電力は国内で 93 TWh (2030)、9,000 TWh (2050)、世界で 2,400 TWh (2030)、260,000 TWh (2050) と推定された。このうちコア、メトロネットワークについては、現状技術でもルータの処理能力が大きいため、2030 年段階では消費電力増加は比較的緩やかである。問題は消費電力の 80% を占めるアクセス系、特に無線アクセス系であり、通信インフラという性質上トラフィック量に関わらず広域をカバーする必要、および通信トラフィックの時間変動が大きいことに対応する必要があり消費電力が大きい。この改善には、ハードウェアのみならず、通信システム、アーキテクチャ等の検討が必要と思われる。

消費電力の特に大きい設備は無線基地局とルータであり、2030 年で現状の 1/2 ~ 1/3、2050 年には 1/100 以下程度を目標として低減する必要がある。

## Summary

The FY2020 report on the impact of the progress of the information society on energy consumption (Vol. 2) focused on the increase in power consumption of data centers. In this report, network-related power consumption is estimated based on certain assumptions such as the network structure of the core, metro, and access networks. Then we identified what kind of facility / equipment has a great influence on power consumption and what kind of problems exist.

As a result, the power consumption of the entire network was estimated to be 23 TWh in Japan and 490 TWh worldwide in 2018. Assuming a 27% annual increase in the traffic and a technology level fixed to the latest one currently available, the power consumption is estimated to be 93 TWh by 2030 and 9,000 TWh by 2050 in Japan, and 2,400 TWh by 2030 and 260,000 TWh by 2050 worldwide. The consumption increase of core and metro networks will be relatively mild until 2030 because the processing capacity of the routers is large even with the current technology. The problem is the access networks that account for 80% of power consumption, especially wireless access systems. Due to the nature of communication infrastructure, the access network must cover a wide area regardless of the amount of the traffic, and also cope with large time fluctuation of the traffic. In order to improve this, it is necessary to consider not only hardware but also communication systems and architectures.

The equipment with particularly high power consumption is wireless base stations and routers, which need to be reduced to 1/2 to 1/3 of the current level by 2030, and to 1/100 or less by 2050.

## 目次

### 概要

1. はじめに .....	1
2. ネットワークの構造 .....	2
2.1 コア（バックボーン）ネットワーク .....	2
2.2 メトロネットワーク .....	3
2.3 アクセスネットワーク .....	3
3. ネットワークトラフィック量の推定 .....	5
3.1 国内 .....	5
3.2 世界 .....	6
4. ネットワーク消費電力の計算 .....	7
4.1 コアネットワーク .....	7
4.2 メトロネットワーク .....	9
4.3 アクセスネットワーク .....	12
4.4 ネットワーク総消費電力 .....	17
5. 消費電力低減のための課題 .....	18
5.1 無線基地局 .....	18
5.2 ルータ .....	19
6. まとめ .....	21
6.1 ネットワーク系 .....	21
6.2 データセンターとの比較 .....	21
7. 政策立案のための提案 .....	23
参考文献 .....	23

## 1. はじめに

情報化社会は情報通信ネットワークによって支えられている。このネットワークのトラフィック（通信量）は、メール、検索、ショッピング、ゲーム、動画から仮想通貨、テレワーク、自動運転などにより膨大な量にのぼっている。このトラフィックを支えるネットワークシステムの消費電力も膨大であり、将来のトラフィックの増大により、さらなる増大が予想されている。

この問題に関しての検討も種々報告されていて、最近でも個別機器の消費電力の低減技術やネットワークアーキテクチャなどの検討や [1, 2]、トラフィックと電力需要の変動に着目した報告 [3] など、種々文献がある。しかしながら、各分野の消費エネルギーを個別機器の消費電力およびデータ処理の電力効率をもとに積み上げて現在および 2030、2050 年の消費電力をトラフィック量をもとに推定した研究はない。

2018 年度提案書で現状技術のままでの将来の消費電力のレベルを推定した [4]。世界のネットワークの消費電力については、185 TWh (2014[5])、242 TWh (2015[6])、247 TWh (2012[7]) という報告があり、かなりばらついている。我々の 2018 年度提案書 [4] では、780 TWh であった。これは契約回線数と 1 契約当たりの平均消費電力からの推定であったが、世界の 1 契約当たりの平均消費電力を、日本の 1 契約当たりの平均消費電力と等しいと仮定した点、日本では動画、ゲームなどで 1 契約当たりの消費電力は世界の平均よりも大きいと推定されることから、過大な推定であったと考えている。

本提案書では、消費電力を抑制するためにはネットワークのどこに着目すべきかを明らかにするために、そこに使用されるネットワークの構成機器の数とエネルギー効率（1 W 当たりの情報処理量）をもとに推定ネットワークトラフィック量から、現状の消費電力および将来予測される消費電力について推定した。将来の消費電力については現状の最新機器を利用したケースで推定した。したがって将来の技術進歩については織り込んでない。

また、実際のトラフィックはエンドユーザーのニーズ、すなわち利用態様、頻度、人数などと供給キャパシティのバランスで決まると考えられるが、このような解析は具体的なサービスやモデルの想定が必要となる。例えば産業用（リモートワーク関連、IoT、遠隔操縦など）、公共インフラ（MaaS など交通、ライフライン、セキュリティ監視）、福祉（在宅看護のバイタルデータと介護ロボット、遠隔医療など）、パーソナル需要（メール、動画配信など）が挙げられる。それらの検討のためには利用モデルが必要であるが、検討時間の関係から今後の課題とし、本提案書では 2018 年度提案書で述べた Cisco の予測を単純に 2050 年まで延長した。なお、これらのうち、国内動画配信サービスについては当センターで別途予測を行っている [8]。

上記エンドユーザー部門ではルータ、スイッチ等 IT 機器数は膨大な数にのぼり、その消費電力も大きいと考えられるので、次報以降の利用モデルの検討において、トラフィック量の検討とともにエンドユーザー部門の消費電力も併せて検討したい。

本提案書の推定結果を利用して、将来の消費電力を削減するためにはどのような機器・設備の研究開発が必要かという課題を提案した。さらに踏み込んだ省エネルギーのための具体的研究テーマについても視野に入れて検討したが、検討対象が多岐にわたり、技術も多種多様で種々の候補が考えられるため、今後検討を継続するなかで整理したい。

## 2. ネットワークの構造

ネットワークの範囲は必ずしも明確ではなく、また階層構造の呼称も必ずしも統一されていないが、ここでは右図の階層構造を採用する [9]。また、各ネットワークの結節点をノードと呼ぶ。ノードにはルータ、電源、空調、光電変換設備などがあるが、消費電力が最も大きく、かつ消費電力が IP トラフィック量に依存する主要機器はルータである。ルータはデータパケットの行き先を制御する。

実際にはネットワークの構造は複雑であるが、消費電力の計算のためにこれらの構造を簡略したモデル構造を仮定する。

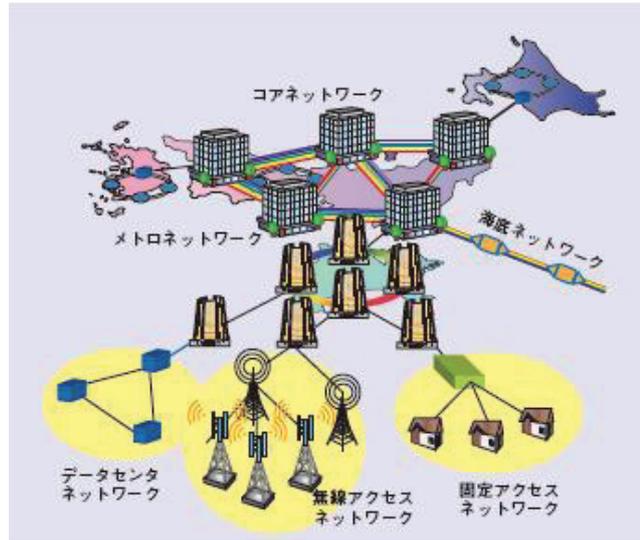


図1 ネットワークの構造

### 2.1 コア（バックボーン）ネットワーク

国内拠点、世界を結んでいる光ファイバーによる 100 Gbps から 1 Tbps という大容量超高速通信を担うネットワークである。今後さらに多重波長化で 10 Tbps も可能とされている。

コアネットワークには、コアネットワークとその下部にあるメトロネットワークを流れる全 IP トラフィックが流れると仮定する。したがって各ノードにおいて、そのコアネットワークの全 IP トラフィックが処理されるとする。コアネットワークの数は日本で 1、世界で 50 を仮定した。コアネットワーク数は米国のように国土が広大で IP トラフィックも多いと思われる国は複数、ヨーロッパのような地続きで国の数も多く距離も小さいところは、一国当たり 1 未満としても良いとして仮定した。

表1 ネットワークのモデル（コアとメトロ）

		No. of networks	No. of nodes	No. of Amplifiers	IP traffic EB/Y
Domestic	core network	1	50	100	106
	metro network	50	4,000	0	106
Global	core network	50	2,500	10,000	2,400
	metro network	2,500	200,000	0	2,400

ノードの数は日本で NTT の県代表局を考慮して 50 とした。世界のノード数も日本を参考に 1 ネットワーク当たり 50 とした。また、コアネットワークはノード間の距離が大きいため、途中に増幅器をもつ中継局が必要となる。一般に 80 km 程度毎に必要と言われているが、ここでは簡単のために 1 ネットワーク当たり国内 100 局、世界は 200 局とした。アンプの消費電力は転送トラフィック 3.2 Tbps あたり 270 W とした [10]。

## 2.2 メトロネットワーク

さまざまな分類があるが、ここでは階層的にアクセス系とコアを結ぶ中間規模のネットワークをメトロネットワークと位置付ける。これも光ファイバーによる10～100 Gbps級のネットワークである。なお、エッジネットワークをメトロネットワーク（地域系ネットワーク全て）とアクセスネットワークを含む総称とする資料もある。本提案書では、エッジコンピューティングはアクセス系、特に基地局に置かれたサーバによると考える。また、データセンターはメトロネットワークに直接接続しているとする。

そしてコアネットワークの各ノードに1つ、合計50のメトロネットワークが接続するとした。メトロネットワーク全体を流れるIPトラフィックの総量はコアネットワークと等しいとし、個別のメトロネットワークを流れるIPトラフィックは各メトロネットワークに等しく分配し、かつ隣接するメトロネットワークのトラフィックが流れるとして総量の1/50の3倍とした。

ノードの数は日本ではNTTの収容局数等から各メトロネットワークに80、総計4,000とした。世界のメトロネットワーク数とノード数はIPトラフィック量に比例するとして日本のノード数から計算した。

## 2.3 アクセスネットワーク

メトロネットワークの下位にユーザーとネットワーク端を結ぶアクセスネットワークが接続する。アクセスネットワークは、光ファイバーによる固定アクセスネットワークのような有線ネットワークと、モバイル用の無線ネットワークがある。通信速度は1～10 Gbps級とされている[5]。検討結果は表2にまとめた。

### 2.3.1 有線アクセスネットワーク

これはユーザー設備から基地局までの有線ネットワークである。

この通信方式は、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)、CATV (Cable TV)、FTTH (Fiber To The Home) などがあり、接続手段も同軸ケーブルや光ファイバーがあるが、技術のトレンドとして大容量通信が可能な光ファイバーによるFTTHが大勢を占めていて、将来ともにこの傾向が続くと考えられるので、ここでは代表的なFTTHの技術であるPON (Passive Optical Network) を検討する。

表2 ネットワークのモデル (アクセス系)

		No. of subscription	No. of OLT	No. of base station	IP traffic
		million	1,000	1,000	EB/Y
Domestic	wired	32	64		48
	wireless	180		900	10
Global	wired	1,070	2,140		1,400
	wireless	7,670		7,000	292

PON においてユーザー端末 (ONU : Optical Network Unit) と基地局 (OLT : Optical Line Terminal) は光ファイバーで接続される。通常 OLT ユニット 1 台に 16 ~ 32 台の ONU が光スプリッターを介して接続され、OLT ユニットの複数台集合して OLT 装置とする。ここでは ONU 500 台に対して OLT 1 台が設置されるとした [11]。

ONU 端末数はブロードバンド契約数から算出し、国内は 32 百万、世界は 10 億 7 千万であった [12]。OLT は上述の比例計算により日本で 64 千台、世界で 2140 千台とした。この OLT はキャリアのメトロノードに設置されてメトロネットワークに接続するとした (表 2)。

### 2.3.2 無線アクセスネットワーク

図のようにモバイル通信などはセルという概念を用いて、各セルに基地局を置き、セルから隣接セルへの地理的移動に伴い通信を受け渡していく方式である。

無線通信方式は、3G、3G-LTE、4G (LE-Advanced) と進化し、現在は 5G に移行しつつあるし、さらに将来的には 6G も視野に置かれている。

世代が進むにつれて、高速化、低遅延化、大容量化が求められるため、使用周波数帯域も高くなる。このために電磁波の直進性の影響が大きく、回り込みが期待できないため、端末と基地局が見通せることが必要といわれ、通信距離も数百 m とされる。特に見通しの悪い市街地では、さらに短距離のナノセル、ピコセルといった小規模基地局が必要になる。

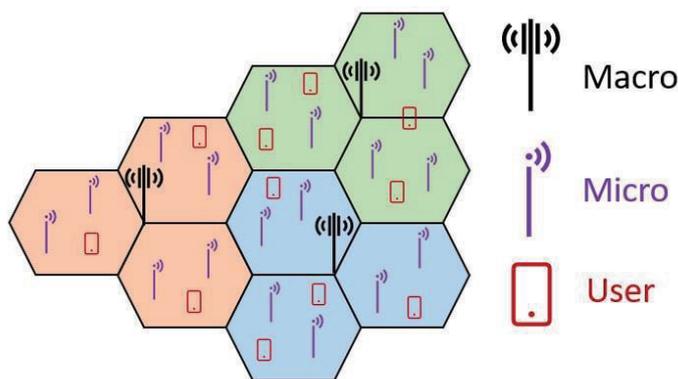


図2 無線アクセス セル構造

このようなセルの通信範囲、その組み合わせやセル数、消費電力などは将来の利用形態や技術進展に大きく影響されるために、将来の状態を推定するのは難しい。そこで本提案書ではマクロセルとスモールセル (ミニセル、マイクロセル、ナノセル、フェムトセル、ピコセルなど) の 2 種類のみを考慮して消費電力の検討を行う。膨大な数のスモールセル基地局が必要と考えられる。

各スモールセル基地局からのデータはマクロセル基地局 (数百 ~ 数十 km オーダー) に集めてから有線で基幹局に送られ、メトロネットワークにつながる。

この携帯電話用の基地局は、国内が 900 千基 [13]、世界が 7000 千基 [14, 15] という数値を採用した。なお、国内基地局数に対する世界の基地局数が、契約数やカバー面積を考慮すると、小さすぎると思われる。単純に契約数に比例するなら世界の基地局は約 3 倍の 2 千万局程度になるはずであり、基地局数についてはやや疑問が残る。ただ、マクロセル基地局といっても数百 m 程度をカバーするものから半径 20 ~ 30 km 程度までカバーできる基幹基地局まで種々あり、出力も異なっている。したがって、海外基地局は国内基地局よりも無線出力が大きいという前提で考えることにした。

無線アクセス系は携帯電話契約数を端末数として国内では 180 百万件 [12]、全世界では 7670 百万件 [16] であったが、これによる消費電力はエンドユーザー側に分類しネットワーク側ではカウントしない。上記検討結果は表 2 にまとめた。

### 3. ネットワークトラフィック量の推定

#### 3.1 国内

総務省が毎年発表しているトラフィック推計値を基準とした [17]。このデータの 2020 年 5 月時点での集計結果を利用した。この統計は国内インターネットサービスプロバイダー (ISP) 9 社のトラフィック値とその市場占有率からトラフィックを推定するもので、

A1: ブロードバンドサービス契約者 (DSL, FTTH) のトラフィック [Gbps]

A2: その他の契約者 (専用線、データセンター等) のトラフィック [Gbps]

B1: 国内主要 IX と協力 ISP9 社とで交換されるトラフィック [Gbps]

B2: 国内主要 IX を介さず国内 ISP 等と協力 ISP9 社とで交換されるトラフィック [Gbps]

B3: 国外 ISP 等と協力 ISP9 社とで交換されるトラフィック [Gbps]

につき、それぞれ outbound, inbound の集計がある。

本提案書では、有線アクセス系トラフィックを A1 の in+out と、全ネットワークトラフィック (アクセス+メトロ+コア) を A1+A2+B1+B2 の in+out として集計した。

無線アクセス系についてのモバイルトラフィックは [18] によった。

この数値のうち 2018 年実績をもとに年率 27% の成長率を仮定して 2030、2050 年のトラフィック量を推定した。2020 年は前年より 50% 増加しているが、これは COVID19 の影響で在宅ワークや動画視聴、ウェブ会議などが増大したためで、今後同じトレンドを維持するかは不明なので、2018 年の数値と平均成長率を採用した。この結果、日本国内のネットワークトラフィックは、106 EB/年 (2018)、1.9 ZB/年 (2030)、223 ZB/年 (2050) と推定された。

表3 国内IPトラフィック

		2010	2018	2020	2030	2050
ISP-BBsubscriber A1,in	Gbps	311	929	1,534		
ISP-BBsubscriber A1,out	Gbps	593	7,282	12,576		
ISP-DC A2,in	Gbps	190	1,921	2,968		
ISP-DC A2,out	Gbps	148	868	2,420		
ISP-IXB1,in	Gbps	90	965	1,611		
ISP-IX B1,out	Gbps	92	283	329		
ISP-ISP B2,in	Gbps	199	4,849	10,066		
ISP-ISP B2,out	Gbps	117	711	1,353		
ISP-Overseas B3,in	Gbps	330	1,669	2,946		
ISP-Overseas B3,out	Gbps	145	401	725		
Internet traffic (A1+A2+B1+B2)	Gbps	1,740	17,808	32,857		
correction to the market share	Gbps	4,047	26,982	48,319		
Internet traffic	EB/Y	16	106	190	1,900	223,000
Wired access traffic (A1+A2)	Gbps	904	8,211	14,110		
correction to the market share	Gbps	1,482	12,075	20,750		
Wired access traffic	EB/Y	6	48	82	800	100,000
Wireless access traffic	EB/Y	4	10		600	480,000
Access traffic	EB/Y	10	58		1,400	580,000

### 3.2 世界

世界のIPトラフィックについては多くの文献でも引用されているCiscoのレポートの数値を採用する。Ciscoはほぼ毎年、IPトラフィック量とその予測値を公表して数値は少しずつ変化している。最近の3本のレポートの数値を表4に示す[19, 20, 21]。2018年度提案書では[19]を採用していることと、ここにはデータセンター内トラフィックの数値もあるので、連続性の観点から本提案書でも[19]の数値を基準とする。

この数値をもとに年率27%の成長率を仮定して2030、2050年の数値を推定した。その結果、全世界のネットワークトラフィックは、2.4 ZB (2018)、39 ZB (2030)、4,600 ZB (2050)と推定された。

また無線アクセス系ネットワークのトラフィックについてはEricssonのデータを利用し、文献中の記述に2025年まで年率27%の拡大とあるのを受けて、本提案書では2050年まで同率でトラフィックが増大するとした[22]。

その結果、無線アクセス系のトラフィックは264 EB/Y (2018) から、6,000 EB/Y (2030)、714,000 EB/Y (2050)になると予測された。

表4 世界 IP トラフィック

			2015	2018	2020	2030	2050
	Access traffic	EB/Y	744	1,438	2,183	23,800	2,840,000
GCI2015-2020[19]	Internet traffic (core+metro+access)	EB/Y	1,090	2,360	3,564	38,900	4,640,000
	Within Datacenter traffic	EB/Y	3,587	8,391	11,770	128,500	15,300,000
	Total datacenter traffic	EB/Y	4,677	10,753	15,334	169,500	22,410,000
VNI2016-21[20]	total internet rtraffic	EB/Y		1,812	2,736	23,500	1,740,000
VNI2017-22[21]	total internet rtraffic	EB/Y		1,872	3,048	30,800	3,130,000

			2015	2018	2020	2030	2050
EMR2019[22]	Wireless access traffic	EB/Y	49	264	548	6,000	714,000

## 4. ネットワーク消費電力の計算

### 4.1 コアネットワーク

ノードにおいてトラフィック量に消費電力が関係する主要機器としてはルータであるので、ここではルータの消費電力を計算し、それに付随する電源部や空調機器の消費電力、電力変換ロス等を合わせてルータの消費電力と等しいと仮定してルータの消費電力の2倍を各ノードの消費電力とした。

また IP トラフィックの日間変動が図3のように大きいことから [23]、

そのピークトラフィックを処理するために各ルータの処理能力は平均トラフィックの20倍必要として必要ルータ数を算出した。さらに各ノードにはバックアップの要請から必要個数の2倍のルータが配置されるとした。

コアネットワークのノード数を  $N_c$  とする。コアを流れるデータ量を平均値で  $DD_c$  (Gbps) とする。ノードに設置されるルータ数を  $N_{rc}$ 、そのルータの消費電力効率を  $R_{bcore}$  (W/Gbps)、ルータのベース電力を定格電力 ( $P_c$  (W)) の  $y$  部とすると、コアネットワークのルータの消費電力 ( $W_{core}$ ) は、

$$W_{core} = N_c * N_{rc} * ((1-y) * R_{bcore} * DD_c + y * P_c) \quad (W)$$

とした。

ルータ消費電力はアイドル時にも定格の70～80%の電力を消費する [24] ことから、 $y=70\%$  とした。ノードの消費電力は電源系や冷却系、UPSなどを考慮して全ルータ消費電力の2倍とした。

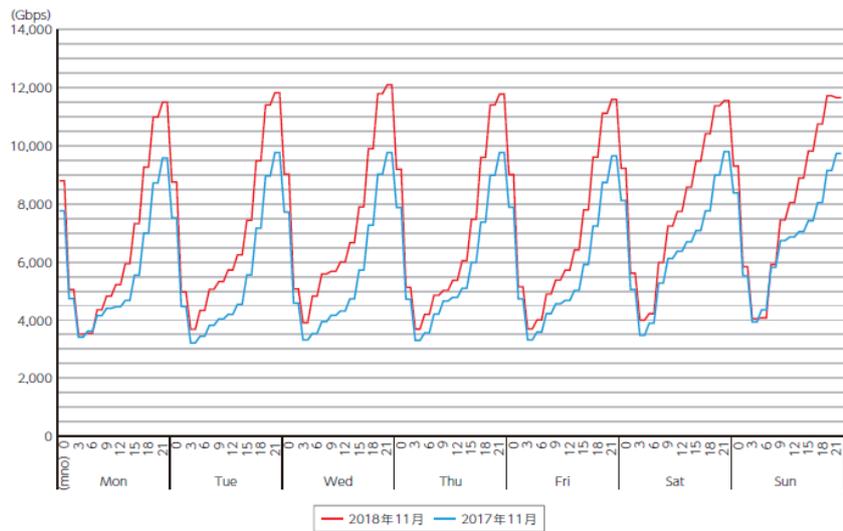


図3 IP トラフィックの変動 [23]

なお、高速大容量ルータの消費電力効率の改善はめざましいものがあり、どの時点の技術を想定するかで消費電力は二桁程度異なる。本提案書では2018年当時設備に使用されていたと思われる平均的能力のルータ（消費電力効率 1.6 W/Gbps）を、2030、2050年消費電力予測時には現状最新と考えられるルータ（消費電力効率 0.16 W/Gbps）を採用した。ルータ仕様は表 13 に示した。計算結果を表 5, 6 に示す。

(1) 国内

国内でコアルータは約 6,000（2018）と計算された。これは他の調査資料のクラスタ型ルータ 5 千台（2010）[25] と近い値である。また消費電力は約 1 TWh となった。これらについてはメトロルータの項で再度検討する。

2030 年以降は電力効率が 10 倍の最新ルータを採用するとして消費電力を計算したため、必要ルータ数は 4,000 台（2030）とむしろ減少し、2050 年度でも 45 千台程度となった。このため消費電力の増大はトラフィックの増大ほど顕著ではなく、2 TWh（2030）、230 TWh（2050）と計算された。

表 5 コアネットワーク消費電力（国内）

Core network			2018	2030	2050
	IP Traffic	EB/Y	106	1,900	223,000
	IP Traffic	Tbit/sec	27	482	56,570
	router power efficiency	W/Gbps	1.6	0.16	0.16
	router power consumption	kW	14	40	40
	switching capacity	Tbit/sec	9	250	250
	No. of Nodes		50	50	50
	No. of Loops		1	1	1
	IP Traffic per Node	Tbit/sec	27	482	56,570
	theoretical No. of routers		60.3	39	4,526
	No. of routers per Node		122	78	9,052
	power consumption of a router	MWh/Y	90	250	251
	power consumption of routers	GWh/Y	549	975	113,600
	No. of amplifiers		100	100	100
	power consumption of the amplifiers	GWh/Y	2	36	4,200
	Core Network power consumption	GWh/Y	1,100	2,000	231,400

(2) 世界

世界でコアルータは 140 千台、消費電力は 25 TWh (2018) と計算された。この数値についてはメトロルータの項で検討する。国内と同様に 2030 年以降には最新ルータを設置するとしてルータ数を計算し、80 千台 (2030)、9400 千台 (2050) となった。消費電力はそれぞれ 42 TWh (2030)、4,900 TWh (2050) と計算された。

表 6 コアネットワーク消費電力 (世界)

core network			2018	2030	2050
	IP Traffic	EB/Y	2,400	39,000	4,640,000
	IP Traffic	Tbit/sec	610	9,900	1,177,000
	router power efficiency	W/Gbps	1.6	0.16	0.16
	router power consumption	kW	14	40	40
	switching capacity	Tbit/sec	9	250	250
	No. of Nodes		2,500	2,500	2,500
	No. of Loops		50	50	50
	IP Traffic per Node	Tbit/sec	12	198	23,540
	theoretical No. of routers		27.2	16	1,883
	No. of routers per Node		56	32	3,768
	power consumption of a router	MWh/Y	90	250	251
	power consumption of routers	GWh/Y	12,600	20,000	2,360,000
	No. of amplifiers		10,000	10,000	10,000
	power consumption of the amplifiers	GWh/Y	90	1,500	173,990
	Core Network power consumption	GWh/Y	25,300	42,000	4,890,000

4.2 メトロネットワーク

メトロネットワークを流れる平均データ量を  $DDm$  (Gbps) とする。コアネットワーク同様にピークデータ量を処理するためにルータの処理能力は平均データ量の 20 倍とした。さらにメトロネットワークの場合、ノード数が多く、隣接するネットワークとの重複が考えられるので、各メトロネットワークを流れるトラフィックは、自分自身に分割されたトラフィック (本モデルでは  $1/50$ ) に隣接する 2 つのメトロネットワークのトラフィックも流れるとした (本モデルでは  $3/50$ )。メトロネットワーク総数を  $Am$ 、各メトロネットワークの平均ノード数を  $Nm$ 、各ノードに設置されるルータ平均数を  $Nrma$ 、そのルータの定格電力 ( $Pma$  (W))、ルータの消費電力効率を  $Rmet$  (W/Gbps)、として、メトロネットワークのルータの消費電力 ( $Wmetro$ ) は、

$$Wmetro = Am * Nm * Nrma * ((1-y) Rmet * DDm + y * Pma) \text{ (W)}$$

とした。

なお、2018年では当時設備に使用されていたと思われる平均的能力のルータ（転送能力 0.9 Tbps、消費電力 1.1 kW）を、2030、2050年消費電力予測時には現状最新と考えられるルータ（転送能力 7.2 Tbps、消費電力 1.6 kW、Cisco ASR9903）を採用した。

ノードの消費電力はその2倍とした。

結果を表7に示す。

(1) 国内

国内のメトロルータの数は2018年に288千台と計算された。実際にはコアネットワークにもメトロネットワークにも同じルータが利用可能であり、ルータの用途で識別はできない。そこでコアルータとメトロルータを加えた基幹系ネットワークルータは、本提案書では294千台と計算された。

他の文献ではクラスタ型+高信頼型で335千台（2010、[25]）、キャリア・ISP向けルータの出荷台数90千台（2018、[26]）で使用期間を5年として450千台であり、この程度の違いはあるものの、概ね需要可能な数値と考える。消費電力は約4 TWh、コアルータを合わせても5 TWhとなった。この数値は文献[21]のクラスタ型と高信頼型ルータの合計の7.7 TWh（2010）と比較してやや少ないが、ほぼ同じレベルである。

2030、2050年では最新市販品の電力効率が6倍の高効率ルータを使用するとして電力を試算した。必要ルータ数はそれぞれ640千台（2030）、76百万台（2050）と計算され、消費電力は13 TWh（2030）、1,500 TWh（2050）となった。

表7 メトロネットワークの消費電力（国内）

Metro Network			2018	2030	2050
	IP Traffic	EB/Y	106	1,900	223,000
	IP Traffic	Tbit/sec	27	482	56,570
	router power efficiency	W/Gbps	1.21	0.22	0.22
	router power consumption	kW	1.1	1.6	1.6
	switching capacity	Tbit/sec	0.912	7.2	7.2
	No. of Nodes		4,000	4,000	4,000
	No. of Loops		50	50	50
	IP Traffic per Node	Tbit/sec	1.62	29	3,394
	theoretical No. of routers		35.5	80	9,428
	No. of routers per Node		72	162	18,858
	power consumption of a router	MWh/Y	7	10	10
	Metro Network power consumption	GWh/Y	4,030	13,000	1,509,000

(2) 世界

世界のメトロルータは約 6400 千台 (2018) となった。これは文献 [22] にある世界の通信キャリア向けルータの出荷金額 127 億 7 千万ドル (2018) をもとに、同じ資料の国内キャリア向けルータの単価 (約 680 千円) から計算した出荷台数 2 百万台、使用期間 4 ~ 5 年として稼働台数 8000 ~ 10000 千台という数値と比較しても概ね齟齬のない数値と思われる。消費電力は約 90 TWh であった。

なお、国内と同様に高性能の最新ルータを使用して 2030、2050 年の必要台数を計算し、それぞれ 13 百万台 (2030)、16 億台 (2050) と計算され、消費電力は 264 TWh (2030)、31,400 TWh (2050) となった。実際には現在でも転送容量が一桁大きいルータもあるため、ルータ台数は少なくできるが、電力効率は転送容量によらず、あまり変わらないので消費電力はそれほど変わらないと考えられる。

表 8 メトロネットワークの消費電力 (世界)

Metro Network			2018	2030	2050
	IP Traffic	EB/Y	2,400	39,000	4,640,000
	IP Traffic	Tbit/sec	609	9,893	1,177,067
	Router power efficiency	W/Gbps	1.21	0.22	0.22
	router power consumption	kW	1.1	1.6	1.6
	switching capacity	Tbit/sec	0.912	7.2	7.2
	No. of Nodes		200,000	200,000	200,000
	No. of Loops		2,500	2,500	2,500
	IP Traffic per Node	Tbit/sec	0.73	12	1,412
	Theoretical No. of routers		16	33	3,924
	No. of routers per Node		32	66	7,848
	Power Consumption of the router	MWh/Y	7	10	10
	Metro Network power consumption	GWh/Y	89,600	264,000	31,400,000

### 4.3 アクセスネットワーク

#### 4.3.1 有線アクセス系

この間の平均データ量を DDa (Gbps) とした。OLT はメトロノードのある施設に置かれている。OLT とメトロルータの間の消費電力は無視できるとした。したがってアクセス系の消費電力は、ONU および OLT の合計と考える。

ここで OLT 総数  $N_{olt}$ 、その平均消費電力を  $P_{olt}$  (W)、ONU 総数を  $N_{onu}$ 、その平均消費電力を  $P_{onu}$  (W) とすると、有線アクセス系の平均消費電力 ( $W_{a,wired}$ ) は、

$$W_{a,wired} = N_{olt} * P_{olt} + N_{onu} * P_{onu} \text{ となる。}$$

なお、OLT、ONU とともにトラフィックにかかわらず定格消費電力を消費するとし、その値は 2018 年には ONU が 8 W、OLT はスプリッターを介して 16 ONU/OLT ユニット、平均して 32 ユニットで 1 台の OLT が構成されるとした。すなわち 500 台の ONU に 1 台の OLT が接続するとして、消費電力 500 W とした。

#### 4.3.2 無線アクセス系ネットワーク

無線アクセス系ネットワークにおいては、利用者からの無線情報を収集する無線基地局とそのデータを基幹局に送信するための光回線からなるので、大半の電力は基地局で消費される。本提案書では基地局の消費電力と光回線のルータの消費電力に着目する。

システム的には既述のように、近い将来、膨大な数のスモールセル（ミニセル、マイクロセル、ナノセル、フェムトセル、ピコセルなど）基地局が必要と考えられる（図 2 参照）。ただ、どのような種類の基地局にどのようにトラフィックが配分されるか、ミニセル、ナノセルなどの送受信範囲やその個数などは将来の利用形態や技術的進展に依存すると考えられ、予測は困難である。そこで、本提案書では従来型のマクロセル基地局に加えて、上述のような短距離をカバーする基地局をスモールセル基地局と総称して、この二種類のみを考慮することにした。

スモールセル基地局の数はマクロ基地局の 9 倍とした。消費電力は従来型基地局についても 700 W から 7 kW までの数値が報告されている（例えば 3.7 kW [27]）。これは当然カバーする通信範囲とも関係する。本提案書では、図 4[28] を参考にしてマクロ基地局（従来型）については、国内は

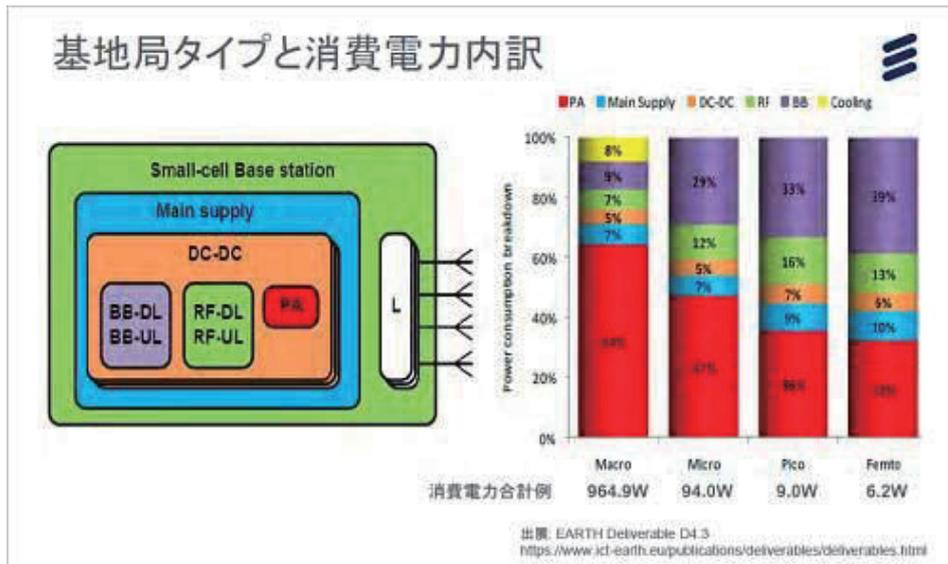


図 4 基地局タイプと消費電力内訳 (Ericsson)[28]

900 W、世界についてはカバー面積の広さを勘案して 3 kW とした。スモールセル基地局消費電力は 100 W とした。

5G の場合に消費電力が増大するという文献がある [29] が、さらに将来を考えると技術水準の予測は困難なため、基地局消費電力については現状技術で固定した。基地局は位置情報ほか常に信号を送受信することから、通信がなくてもマクロ基地局において 60 ~ 70% 程度の消費電力があり、スモールセルにおいては通信量への依存性も小さいので、計算の簡便さから、全ての基地局は常時定格で電力を消費するとした。なお、消費電力のトラフィック依存性は主にパワーアンプ部によるとされる (図 5)。

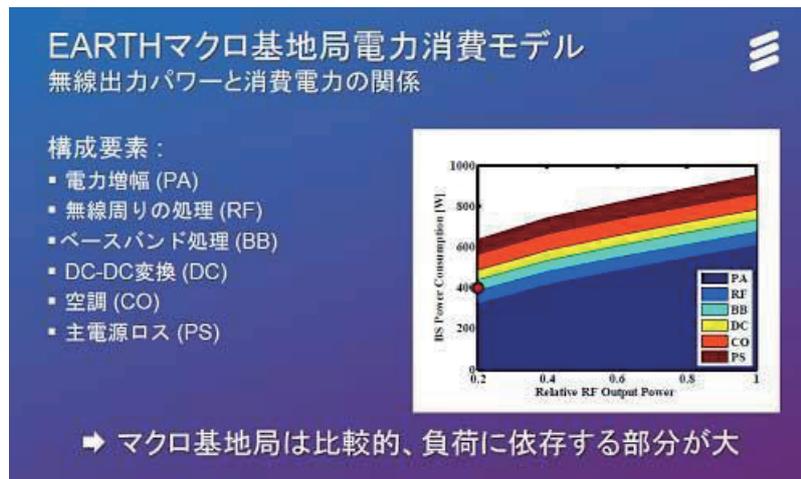


図 5 基地局消費電力と出力 (Ericsson)[28]

また、直接送受する無線通信データ量はスモールセルに 70%、マクロセルに 30% とし、さらにスモールセルの 70% 分のデータトラフィックはマクロセル基地局に有線で集められ、メトロネットワークに光回線で送付されるとした。

以上をまとめると無線アクセス系の消費電力 ( $W_{a,wireless}$  (W)) は、メトロネットワーク接続用ノード消費電力 ( $W_{a,node}$  (W)) とマクロ基地局消費電力 ( $W_{a,macro}$  (W)) およびスモール基地局消費電力 ( $W_{a,small}$  (W)) の合計となる。

$$W_{a,wireless} = W_{a,node} + W_{a,macro} + W_{a,small}$$

ノード消費電力 ( $W_{a,node}$  (W)) は電源や冷却系の消費電力を考慮してルータ消費電力 ( $W_{a,router}$  (W)) の 2 倍とした。ルータ消費電力はルータ数 ( $N_{a,router}$ ) とその定格消費電力 ( $W_{a,r}$  (W)) の積とした。ルータ数はモバイルトラフィック ( $DDa$  (Tbit/sec)) とマクロ基地局数 ( $N_{a,macro}$ )、およびルータ処理能力  $S_r$  (Tbit/sec) より理論ルータ数を求めた。このときトラフィックの変動があるため、理論ルータ数の 5 倍の処理能力が必要と仮定し、最低設置数は 1 台とした。また各ノードには予備として必要数の 2 倍のルータを配置した。

$$N_{a,router} = 5 * DDa / N_{a,macro} / S_r * 2$$

$$W_{a,node} = 2 * W_{a,router} = 2 * N_{a,router} * W_{a,r}$$

マクロ基地局消費電力はマクロ基地局数 ( $N_{a,macro}$ ) とその消費電力 ( $W_{a,m}$  (W)) より、 $W_{a,macro} = N_{a,macro} * W_{a,m}$

スモール基地局消費電力は、スモール基地局数 ( $N_{a,small}$ ) とその消費電力 ( $W_{a,s}$  (W)) より  $W_{a,small} = N_{a,small} * W_{a,s}$  として求められる。なお将来的なトラフィックの増大に対しては、基地局数ではなく、基地局当たりの消費電力がトラフィックに比例するとして消費電力を算出した。

今後、この予測よりも消費電力が増大する要因としては、データセンターの項でも述べたネットワークスイッチファブリックと同様に、各スモールセル基地局同士が基幹局を介さないで直接通信する可能性が指摘されている。このためにはスモールセル基地局もルータあるいはL3スイッチを持たなければならず、消費電力は増大する。低減する要因としては、エッジコンピューティングの導入により、基幹局までのトラフィックが低下する可能性もある。

(1) 国内

結果を表9に示す。2018年の固定アクセス系消費電力は約2,500 GWh/Y、無線アクセス系は約15,400 GWh/Y、合計で18 TWh/Yと推測された。将来的には78 TWh (2030)、7,000 TWh (2050)と予測され、特に無線アクセス系の消費電力の増大が顕著と予想された。

表9 アクセス系消費電力 (国内)

Domestic Access Network			2018	2030	2050
wired	BB IP Traffic	EB/Y	48	800	100,000
	BB IP Traffic	Tbit/sec	12	203	25,368
	power consumption of ONU	W	8	10	14
	subscription	1000	32,000	32,000	32,000
	traffic per subscription	Gbps	3.8E-04	6.3E-03	7.9E-01
	transmission rate	Gbps	1	10	100
	ONU power consumption per year	GWh/Y	2,200	2,900	3,800
	power consumption of OLT	W	500	650	845
	No. of OLTs	1000	64	64	64
	OLT power consumption per year	GWh/Y	280	360	470
wireless	Mobile Traffic	EB/Y	10	200	21,000
		Tbit/sec	3	51	5,327
mobile back	router power efficiency	W/Gbps	2.0	2.0	2.0
	router power consumption	kW	0.13	0.13	0.13
	switching capacity	Tbit/sec	0.064	0.064	0.064
	IP Traffic per Node	Tbit/sec	3.3E-06	5.7E-05	5.9E-03
	theoretical No. of routers		2.6E-04	4.4E-03	0.5
	No. of routers per Node		2	2	22
	power consumption of a router	MWh/Y	1	1	1
	access node power consumption	GWh/Y	3,600	3,600	39,600
	transmission rate	Gbps	0.1	10	100
	No. of Macro base station	1000	900	900	900
	power consumption of a Macro base station	W	1,000	5,100	535,500
	No. of small cell station	1000		8,100	8,100
	power consumption of a small cell station	W		100	10,500
	annual power consumption of total stations	GWh/Y	11,800	71,000	7,000,000
Access Network power consumption		TWh/Y	18	78	7,000

(2) 世界

結果を表 10 に示す。2018 年の固定アクセス系消費電力は約 84,000 GWh/Y、無線アクセス系は約 286,000 GWh/Y、合計で 370 TWh/Y と推測された。将来的には 2,100 TWh (2030)、220,000 TWh (2050) と予測され、また無線アクセス系の消費電力の増大が顕著と予想された。

表 10 アクセス系消費電力 (世界)

Global Access Network			2018	2030	2050	
wired	BB IP Traffic	EB/Y	1,400	23,800	2,840,000	
	BB IP Traffic	Tbit/sec	355	6,038	720,400	
	power consumption of ONU	W	8	10	14	
	subscription	1000	1,070,000	1,070,000	1,070,000	
	traffic per subscription	Gbps	3.3E-04	5.6E-03	6.7E-01	
	transmission rate	Gbps	1	10	100	
	ONU power consumption per year	GWh/Y	75,000	97,500	126,700	
	power consumption of OLT	W	500	650	845	
	No. of OLTs	1000	2,140	2,140	2,140	
	OLT power consumption per year	GWh/Y	9,400	12,000	16,000	
wireless	Mobile Traffic	EB/Y	264	6,000	714,000	
		Tbit/sec	67	1,522	181,000	
mobile back	router power efficiency	W/Gbps	2.0	2.0	2.0	
	router power consumption	kW	0.13	0.13	0.13	
	switching capacity	Tbit/sec	0.064	0.064	0.064	
	IP Traffic per Node	Tbit/sec	9.6E-06	2.2E-04	2.6E-02	
	theoretical No. of routers		7.E-04	2.E-02	2	
	No. of routers per Node		2	2	4	
	power consumption of a router	MWh/Y	0.34	0.35	0.57	
	access node power consumption	GWh/Y	9,600	9,700	32,000	
	transmission rate	Gbps	0.1	10	100	
	No. of Macro base station	1000	7,000	7,000	7,000	
	power consumption of a Macro base station	W	3,000	20,500	2,439,500	
	No. of small cell station	1000		63,000	63,000	
	power consumption of a small cell station	W		100	100	
	annual power consumption of total stations	GWh/Y	276,000	1,968,000	224,000,000	
Access Network power consumption			TWh/Y	370	2,100	220,000

#### 4.4 ネットワーク総消費電力

以上の結果をまとめると下表 11、12 のようになる。

国内消費電力は 2018 年に 23 TWh、さらに 2030 年に 93 TWh、2050 年に 9,000 TWh と予測された。また、世界の消費電力は 2018 年に 490 TWh、2030 年に 2,400 TWh、2050 年に 260,000 TWh と予測された。

今回の機器積み上げによる国内消費電力計算値の 23 TWh (2018) は 2018 年度提案書 [4] の契約者数と 1 回線当たりの消費電力から計算した推定消費電力値 18 TWh/Y (2016) と比較すると、やや多いが、毎年の増加傾向も考慮すれば、概ね両者ともに妥当な値ではないかと思われる。

全世界の計算値の 490 TWh は 2018 年度提案書 [4] の契約者数と 1 回線当たりの日本における消費電力を世界にも適用して計算した推定消費電力値 783 TWh/Y (2016) よりは少なくなった。これは 2018 年度提案書でも述べたが日本の携帯電話では動画やゲームの利用が多く、トラフィック量が世界の実態より大きく仮定したためと考えられる。このためにトラフィック量から計算した今回の数値と異なり、今回の数値はより実態を反映したものと考える。

次に内容であるが、ネットワーク全体の消費電力はほぼアクセス系ネットワークによるものといえる。コア、メトロネットワークの消費電力については、現状技術でもルータの処理能力が大きいため、2030 年段階では大きな問題にはならない可能性がある。もっともネットワークの遅延の許容度が現状程度では許されず、さらなる高速化が必要となれば、消費電力は急激に増大する可能性がある。また、専用回線の敷設が必要になる場合も考えられる。

問題は無線アクセス系で、基地局数が膨大になるため、各基地局の消費電力の低減が重要となる。将来的に自動運転や遠隔手術など低遅延が求められると消費電力はさらに増大する可能性があるし、IoT など、通信端末を備えた設備が急激に増大すると、やはり消費電力の増大につながる。

表 11 全ネットワーク消費電力 (国内 : TWh)

Domestic	2018	2030	2050
Core Network	1	2	231
Metro Network	4	13	1,510
Access Network	18	78	7,000
Total	23	93	9,000

表 12 全ネットワーク消費電力 (世界 : TWh)

Global	2018	2030	2050
Core Network	25	42	4,900
Metro Network	90	260	31,400
Access Network	370	2,100	220,000
Total	490	2,400	260,000

## 5. 消費電力低減のための課題

今までの検討で IP トラフィックの増大に伴って消費エネルギーが増大する最大のネットワーク設備は無線基地局であり、ついでルータであることが明らかとなった。なおルータは今回の報告にはないエンドユーザー側にも膨大な数が設置され、消費電力は大きいと推定されるので省電力は重要である。したがって、この2設備に絞って消費電力の低減の可能性を検討する。

### 5.1 無線基地局

ノキアのレポートによると、モバイルネットワークの消費電力の80%が基地局で消費され、残りの20%がコア、バックホール、ネットワーク制御に消費される [30]。そして基地局消費電力の70%がチップで消費されるが、データ転送に消費される電力は20%で50%は冗長化やアイドルリングで消費されるという。そこで基地局の構造とその運転の態様について検討する [31]。

#### (1) 基地局の構造

基地局は大きく RRH (Remote Radio Head) と BBU (Base Band Unit) の2つの施設よりなる。RRHは無線の送受信を担当し、受信アンテナで受けた無線信号をフィルターを通してから受信アンプで増幅し、デジタル信号に変換する受信回路と、送られてきたデジタル信号をアナログ変換し、送信用アンプで増幅し、フィルターを通して送信アンテナに送る送信回路からなる。

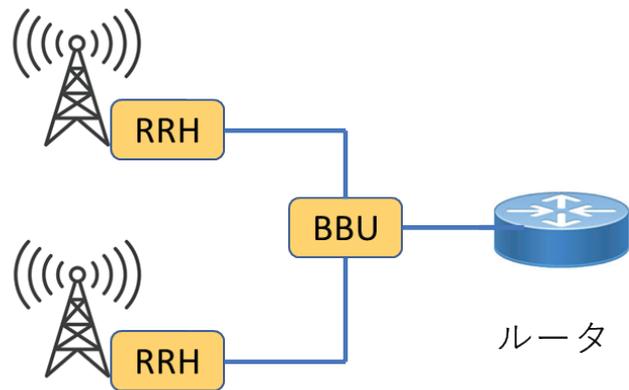


図6 無線基地局の構造

#### (2) 基地局とトラフィック負荷

また基地局のトラフィック負荷は図7のように30%の基地局でトラフィックの80%を担うなど、負荷が偏っている [30]。これは全国どこでも通信可能にするために利用頻度の低い地域にも基地局を置かなければならないためである。

また、利用されていない基地局も常に位置情報等の信号を出しているため、一定の電力を消費するという問題がある。また、頻繁にアクセスされる基地局も一日の間ではトラフィックの時間的変動が大きい。

したがって、空間的、時間的に負荷が極端に偏った場合にいかに電力を低減するかということが課題として挙げられる。この解決策としてはスリープモードの導入とかスモールセルの採用などが提案されている。

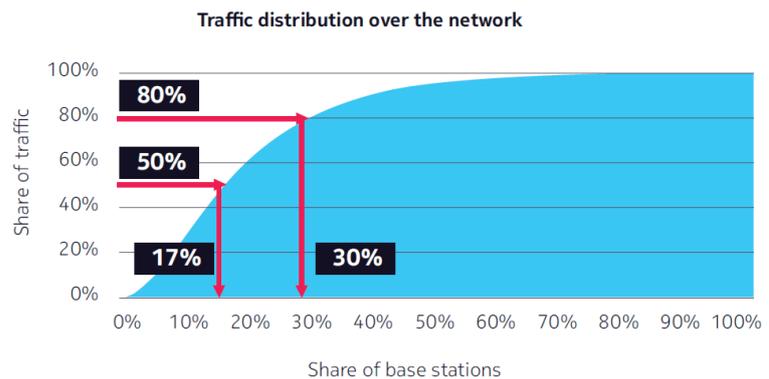


図7 基地局のシェアとトラフィック量 [30]

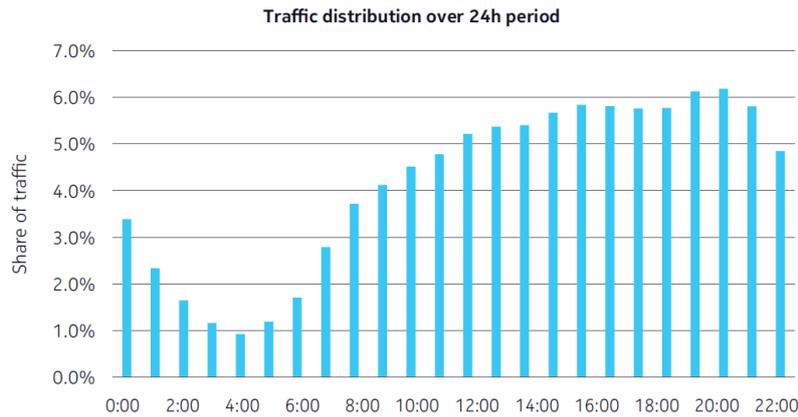


図8 1日のトラフィックの時間変動 [30]

(3) 基地局におけるエネルギー消費の内訳

図9のように基地局設備（冷暖房、バックホール、UPS など）で30%、電源等で20%、チップで50%の電力を消費するというレポートがある [31]。

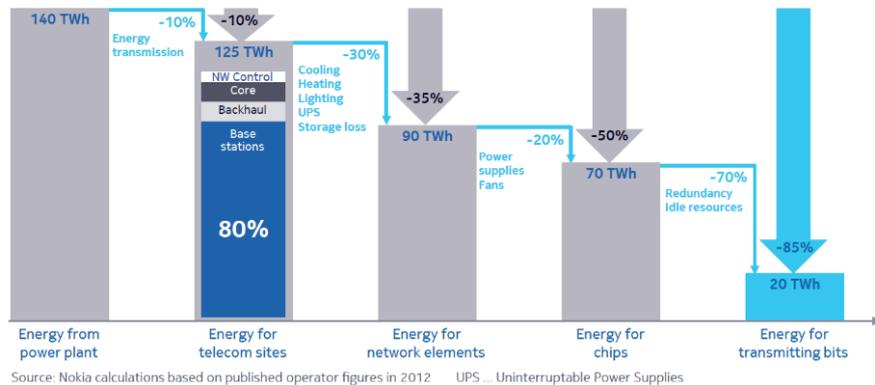


図9 基地局消費電力の内訳 [30]

また、消費電力の最も大きいデバイスは送信アンプといわれている。

例えばパワーアンプ（含む電源）が65%、空調が17.5%、デジタル信号プロセッサが10%、ADコンバーターが7.5%という報告がある [32]。ここから送信アンプ部における電力効率向上という課題がある。

5.2 ルーター

(1) ルーターの消費電力効率の変遷

高速大容量ルーターの消費電力効率の改善はめざましいものがあり、ここ10年で消費電力は二桁程度異なる。表に示すように、例えば2015年では転送能力640 Gbps、消費電力10.9 kW、消費電力効率17 W/Gbpsのルーター（Cisco CRS-1）をコアルーターとして消費電力を計算した報告がある [10, 33]。本提案書では2018年では当時設備に使用されていたと思われる平均的能力のルーター（転送能力9 Tbps、消費電力14.4 kW、消費電力効率1.6 W/Gbps [33]）を、2030、2050年消費電力予測時には現状最新と考えられるルーター（転送能力250 Tbps、消費電力40 kW、消費電力効

率 0.16 W/Gbps、Cisco8818[34]) を採用した。このようにここ 10 年以内でルータの消費電力効率は二桁の改善を達成している [33, 34]。

表 13 ルータの電力効率向上

	switching capacity	power consumption	energy efficiency	sales year
	Tbps	kW	W/Gbps	
Cisco CRS-1	0.64	10.9	17.0	2010
Cisco CRS-3	9	14.4	1.61	2015
Cisco 8818	259	40	0.16	2020

(2) ルータの機能と構造

ルータはネットワークにおいて、データパケットを解析して宛先に送る機能を持っている装置である。なお、ルータでの情報処理は電子回路で行われるが、ネットワークの通信は光ファイバーが用いられるので、ルータの入力側と出力側にはそれぞれ光電変換装置が必要となる。

ルータは、CPU、検索エンジン、転送エンジン等の ASIC、PRU などのデータ処理部分と、入力パケットの一時貯蔵としての DRAM、宛先情報をもつルーティングテーブルなどからなる。

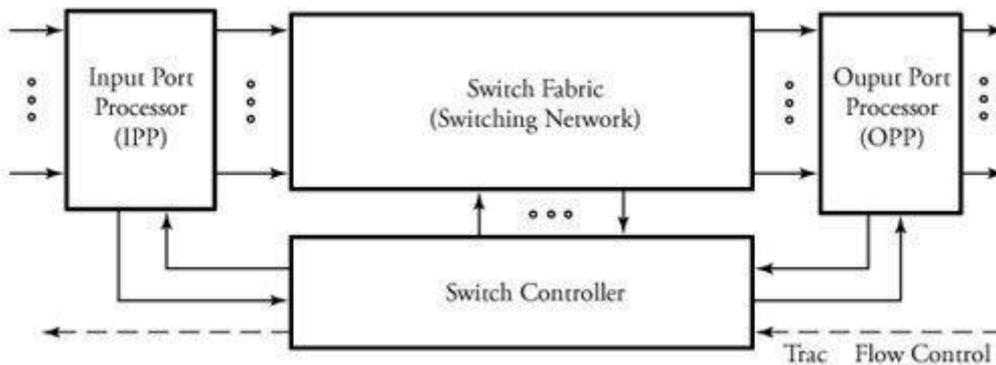


図 10 ルータの基本回路 [35]

典型的なルータの構造は図 10 のようなものである [35]。

パケットは n 個の入力ポートに到着し、n 個の出力ポートからルーティングされる。このシステムは、入力ポートプロセッサ (IPP)、出力ポートプロセッサ (OPP)、スイッチファブリック (スイッチングネットワーク)、およびスイッチコントローラの 4 つの主要部分で構成されている。

データセンターの消費電力の解析でも明らかになっているが、このような組み合わせではプロセッサが最も多く電力を消費し、次いでスイッチファブリックが電力を消費する。ここから、プロセッサの高効率化が課題として挙げられる。将来的には光電変換を省略した光プロセッサ等も提案されている [36]。また、ルーティングのシステムそのものの変更も課題として挙げられている。

## 6. まとめ

ネットワーク消費電力を抑制するためにはどこに着目すべきかを明らかにするために、ネットワークの構成機器の数とエネルギー効率（1 W 当たりの情報処理量）をもとに推定ネットワークトラフィック量から、ネットワークインフラに関連する現状の消費電力および将来予測される消費電力について推定した。将来の消費電力については現状の最新機器を利用したケースで推定した。なおエンドユーザー側の消費電力も大きいと考えられるが、これは別途検討する。

検討結果をデータセンターの検討結果とともに下表に示す。

### 6.1 ネットワーク系

ネットワーク全体の消費電力は、2018年時点で国内が23 TWh、世界で490 TWhと推定された。また年率27%の増大を仮定して、技術レベルは現在の最新市販品レベルを前提とすると、国内で93 TWh（2030）、9,000 TWh（2050）、世界で2,400 TWh（2030）、260,000 TWh（2050）と推定された。

このうち80%はアクセス系ネットワークによるものといえる。コア、メトロネットワークの消費電力については、現状技術でもルータの処理能力が大きいいため、年率27%程度のトラフィックの増加を仮定すれば2030年段階では大きな問題にはならない可能性がある。

もっともネットワークの遅延の許容度が現状程度では許されず、さらなる高速化が必要となれば、消費電力は急激に増大する可能性がある。また、専用回線の敷設が必要になる場合も考えられる。

無線アクセス系については、基地局数が膨大になるため、各基地局の消費電力の低減が重要となる。将来的に自動運転や遠隔手術などで低遅延が求められたり、IoTなど、通信端末を備えた設備が急激に増大したりすると、現在の想定以上に消費電力が増大する可能性がある。

### 6.2 データセンターとの比較

主要なICTインフラストラクチャはデータセンターとネットワークで構成されるので、この合計消費電力の程度を比較できるように2020年度提案書（Vol.2）[37]の結果も含めて表にまとめた。データセンターの検討内容の詳細は2020年度提案書（Vol.2）[37]を参照。ネットワークの消費電力との比較では、ほぼ同レベルにあることがわかる。

表 14 国内 ICT インフラストラクチャの消費電力の現状と将来予測

Domestic	2018	2030	2050
Datacenter	TWh/Y	TWh/Y	TWh/Y
server	7	46	6,500
storage	2	29	3,700
switch	0.1	1	70
power supply	5	11	1,500
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>90</b>	<b>12,000</b>
Network			
Core	1	2	231
Metro	4	13	1,510
Access	18	78	7,000
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>93</b>	<b>9,000</b>

将来的にはデータセンターの消費電力が多くなる傾向にあるが、これは AI や機械学習の影響を考慮したものであり、これらが実際にどのように利用されるかは現在のところ不明確である点、相当の誤差を含むと考えられる。

表 15 世界 ICT インフラストラクチャの消費電力の現状と将来予測

Global	2018	2030	2050
Datacenter	TWh/Y	TWh/Y	TWh/Y
server	113	2,190	384,000
storage	27	430	51,000
switch	2	20	3,400
power supply	43	400	66,000
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>3,000</b>	<b>500,000</b>
Network			
Core	25	42	4,900
Metro	90	260	31,400
Access	370	2,100	220,000
<b>Total</b>	<b>490</b>	<b>2,400</b>	<b>260,000</b>

## 7. 政策立案のための提案

本検討に明らかになったように、今後データセンター、ネットワークの負荷は著しく増大することが予想され、現状技術レベルのままでは国内でも2030年に200 TWh/年レベルに達する。これは現在の日本の年間電力消費の20%を超える値であり、その抑制は重要課題である。また、世界では2030年にデータセンターで3,000 TWh、ネットワークで2,400 TWhに達すると計算される。

もちろん、技術進歩による省エネルギーが期待され、このまま消費電力が増大することにはならないが、本提案書で消費電力抑制が必要な設備・機器を定量的データで明らかにできた。この結果、通信分野で消費電力の増大が著しい分野はアクセス系、特に無線アクセス系であり、装置・設備としては無線基地局とルータであった。したがって、これらの消費電力を低減する研究が重要であり、低減の程度は2030年で現状の1/2～1/3、2050年には1/100以下程度を目標とする必要がある。

特に通信ネットワークにおいては、トラフィック量は時間変動が大きく、またインフラとして通信量の少ない広大な地域をカバーする必要から通信量の地理的な偏りも大きいため、トラフィック量の小さい設備での電力低減と同時にピークトラフィックにどう対応するかという問題があり、ハードウェアのみならず通信システム、アーキテクチャの検討も重要と考える。

なお本提案書では消費電力低減のための具体的対策までは検討できていないが、ハードウェアでいうと基地局では送信アンプ、ルータではルーティング関連のプロセッサとスイッチが消費電力の大きい機器として挙げられるので、これらデバイスの省エネルギー化が重要である。

また、通信関連では特にアーキテクチャ、ソフトウェアも省電力に重要な役割を果たすといわれている。上記に関してさまざまな技術が提案されているため、後日に整理して報告したい。

## 参考文献

- [1] R. Maaloul, et al., “Energy Saving in Carrier-Grade Networks: A Survey”, Computer Standards and Interfaces, Elsevier, 2018, 55 (2018).
- [2] “将来のネットワークインフラに関する研究会”, 報告書, 総務省 (2017).
- [3] J. Morely, et al., “Digitalisation, energy and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption”, Energy Research & Social Science 38 128-37 (2018).
- [4] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.1) —IT 機器の消費電力の現状と将来予測—”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2019年3月.
- [5] IEA, “Digitalization and energy” (2017).
- [6] J. Malmodin, et al., “The electricity consumption and operational carbon emissions of ICT network operators 2010-2015”, Report from the KTH Centre for Sustainable Communications (2018).
- [7] A. S. G. Andrae et al., “On global electricity usage of communication technology: Trends to 2030”, Challenges 2015, 6(1), 117-57 (2015).
- [8] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “通信トラフィックの推移および Covid-19 緊急事態宣言のもとでのテレワークの影響の定量的分析”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2021年3月.
- [9] 宮本 裕, 他, “将来の大容量通信インフラを支える超高速通信技術”, NTT 技術ジャーナル, vol.31 No.3 (2019).
- [10] NEDO, グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト, “革新的省エネルギー

- ネットワーク・ルータ技術の研究開発 /IT 社会を遠望した情報の流れと情報量の調査研究 / 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価 平成 20 年度～平成 24 年度成果報告書” (2013).
- [11] <https://www.keysight.com/main/editorial.jsp?cc=JP&lc=jpn&ckey=798810&nid=-32418.536883555.00&id=798810>, (アクセス日 2020 年 10 月 1 日).
- [12] 総務省情報通信データベース, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin08.html>, (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [13] 株式会社 MCA, “携帯電話基地局市場及び周辺部材市場の現状と将来予測 2018 年版”, (2018).
- [14] <https://www.globaltimes.cn/content/1172513.shtml>, (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [15] <https://www.operatorwatch.com/2020/08/how-many-cell-towers-base-stations.html>, (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [16] Ericsson mobility report 2020 (2020).
- [17] 総務省情報通信統計データベース, “我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算”, [https://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/eidsystem/market01\\_05\\_03.html](https://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/eidsystem/market01_05_03.html), (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [18] 総務省, “平成 30 年度携帯電話・全国 BWA に係る電波の利用状況調査の調査結果及び評価結果の概要”, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000572034.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000572034.pdf), (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [19] Cisco, “Cisco Global Cloud Index : 予測と方法論、2015～2020 年”, (2016).
- [20] Cisco, “Cisco Visual Networking Index : 予測と方法論、2016～2021 年”, (2017).
- [21] Cisco, “Cisco Visual Networking Index : 予測とトレンド、2017～2022 年”, (2018).
- [22] Ericsson Mobility Report Nov. 2019 (2019).
- [23] 総務省. “令和元年版情報通信白書”, 図表 3-2-2-29 (2020).
- [24] P. Mahadevan, P. Sharma, S. Banerjee, and P. Ranganathan, “A power benchmarking framework for network devices”, In Networking, Springer Berlin Heidelberg, pp. 795-808, 2009.
- [25] NTT データ経営研究所, 「平成 24 年度我が国情報経済社会における基盤整備 (IT 機器のエネルギー消費量に係る調査事業) 報告書」 (2013).
- [26] 情報通信ネットワーク産業協会、通信機器中期需要予測 [2019-2024 年度] (2019).
- [27] W. V. Heddeghem, “Power consumption in telecommunication networks: overview and reduction strategies”, IEEE Communication Magazine, June 2011 (2011).
- [28] <https://www.semiconportal.com/archive/editorial/industry/150522-ericsson.html>, (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [29] <https://techblog.comsoc.org/2020/08/07/5g-base-station-deployments-open-ran-competition-huge-5g-bs-power-problem/>, (アクセス日 2020 年 10 月 1 日).
- [30] NOKIA Networks White Paper, “5G network energy efficiency : Massive capacity boost with flat energy consumption” (2016).
- [31] Nokia Networks White Paper, “Technology Vision 2020 Flatten Network Energy Consumption” (2015).
- [32] A. Ayang et al., “Power Consumption: Base Stations of Telecommunication in Sahel Zone of Cameroon: typology based on the Power Consumption-Model and Energy Savings”, J. of energy Vol.2016, 3161060, 1-15 (2016).
- [33] <https://www.fujitsu.com/jp/products/network/carrier-router/archives/index.html>, (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).
- [34] <https://www.fujitsu.com/jp/products/network/carrier-router/archives/crs-1/crs-3/>, (アクセス日 2020 年 11 月 5 日).

- [35] N. F. Mir, “Computer and Communication Networks 2<sup>nd</sup> Ed.”, Prentice Hall (2014).
- [36] 岩村他、“IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想実現に向けた取り組み”、NTT 技術ジャーナル 2020.1 (2020).
- [37] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.2) —データセンター消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題—”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2021年2月.

---

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

情報化社会の進展がエネルギー消費に与える  
影響 (Vol.3)

—ネットワーク関連消費エネルギーの現状と将来予測および技術的課題—

令和3年2月

Impact of Progress of Information Society on Energy Consumption (Vol. 3):  
Current Status and Future Forecast of Network-Related Energy Consumption and Technical Issues

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2021.2

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 上席研究員 三枝 邦夫 (SAEGUSA Kunio)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階  
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp  
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2021 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。