

## 6. 環境エネルギー技術の進化と将来像

### 6-1 環境エネルギー技術

Energy and Environment Technologies

黒川不二雄 山下暢彦

#### Abstract

地球環境保護は人類共通の課題であり、通信を用いることによる環境保護への貢献や、通信を行う装置・設備自体の消費エネルギーの削減が求められている。トラフィック量の持続的な増加が進む中、端末やシステムへの効率的なエネルギー供給・冷却技術が求められる。環境影響評価技術やエネルギー供給・冷却技術のこれまでの進化の経緯を踏まえ、目指す将来像、並びに素子・回路レベルからシステム・運用に至る幅広い技術領域の進化の方向性、主な技術課題を議論する。  
キーワード：エネルギー、電力、空調、蓄電池、環境負荷

#### 1. はじめに

科学技術の進展、資源の採掘、消費エネルギー量の増加などを背景に、地球環境保護は人類共通の課題であり、国際的に取組みが進められている。通信に関わる技術においても、通信を用いることで環境保護につながるモニタリング、エネルギー使用の抑制・効率化を図るなどの貢献ができ、通信を行う装置・設備自体の消費エネルギーや使用する資源の削減といった取組みが今後より一層重要になっていくと考えられる。通信を支える装置類は休むことなく常に動作し続けていることから従来から省エネが重要な課題であり、更に停電や災害時にも通信を途切れさせない、途切れても速やかに復旧させるための技術開発や運用体制の構築が100年にわたり脈々と続けられてきた。環境とエネルギーに関わる技術は通信に関わる分野に絞っても多岐にわたるため、その主なものを俯瞰し、今後の展望について述べる。

#### 2. 環境面の技術展望

##### 2.1 ICT技術による環境貢献

##### 2.1.1 通信による移動削減等、その評価法

COP21で採択されたパリ協定等を踏まえ、「地球温暖化対策計画」が2016年5月に閣議決定され、温室効果ガスの排出削減について2030年度に2013年度比で26%削減の中期目標、2050年までに80%削減を目指す長期目標が定められている<sup>(1)</sup>。この目標達成に向け、化石燃料にその多くを頼る交通機関による人、物の移動に代わり、通信によって人類の活動の置き換えが進めば、環境負荷低減に大きく貢献できる。例えば、テレビ会議システムにより、CO<sub>2</sub>をどれほど削減できるかを評価した結果を図1<sup>(2)</sup>に示す。仮想現実（AR）等の技術の進歩も実移動の抑制につながるだろう。このように通信及びそれに関連するサービスの進展によってCO<sub>2</sub>の排出を抑制することが可能である。CO<sub>2</sub>削減につながるソリューションは各種あり、その評価方法自体も研究開発対象となっている<sup>(3)</sup>。今後、企業がCSR（Corporate Social Responsibility）により力を入れ、環境目標を定め、実績を評価・管理し、また公開も行う社会へ向かうと考えられる。定量的な評価と管理の下、環境負荷削減の取組みの一層の進展が期待される。

黒川不二雄 正員：シニア会員 長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所電気  
電子情報部門

E-mail KUROKAWA\_Fujio@NiAS.ac.jp

山下暢彦 正員 日本電信電話株式会社 NTT ネットワーク基盤技術研究所  
Fujio KUROKAWA, Senior Member (Institute for Innovative Science and  
Technology, Nagasaki Institute of Applied Science, Nagasaki-shi, 851-0121  
Japan) and Nobuhiko YAMASHITA, Member (NTT Network Technology  
Laboratories, NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION,  
Musashino-shi, 180-8585 Japan).

電子情報通信学会誌 Vol.100 No.8 pp.843-848 2017年8月

©電子情報通信学会 2017

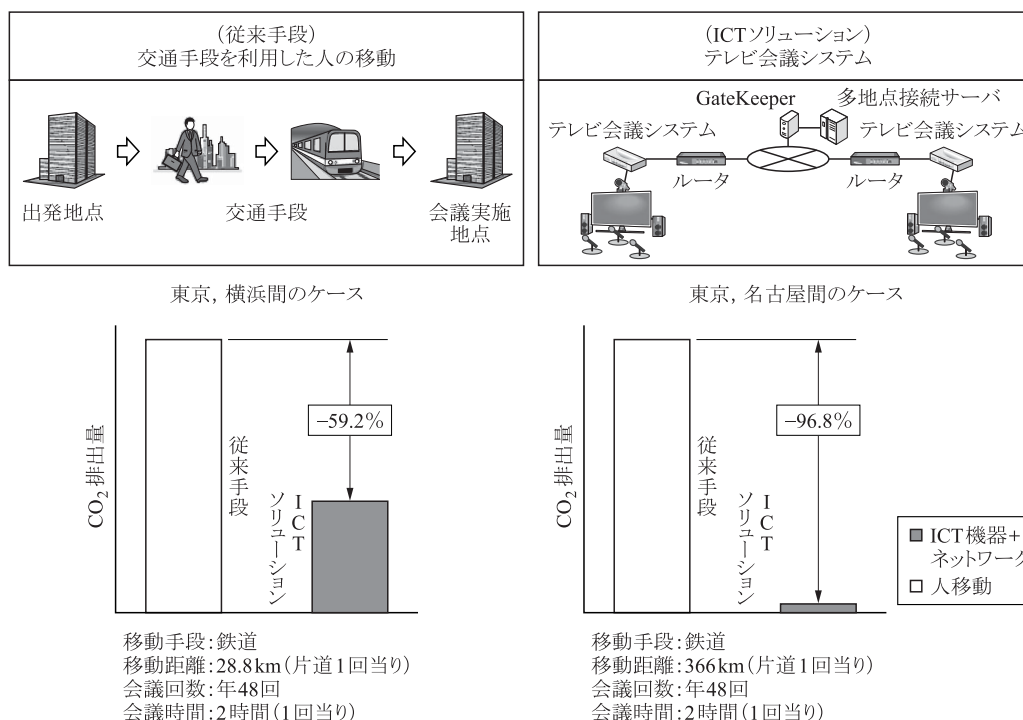


図1 TV会議システムの評価結果<sup>(2)</sup> テレビ会議システムと出張による会議を比較した事例。テレビ会議ではICT装置利用による環境負荷(CO<sub>2</sub>排出)が発生するが、従来手段の移動による負荷よりも小さく、環境負荷削減効果がある。

## 2.1.2 エネルギー関連設備のマネジメントの高度化

HEMS (Home Energy Management System), BEMS (Building Energy Management System), DEMS (Data center Energy Management System) といったICT装置の活用により、住宅、ビル、データセンターにおけるエネルギー消費の最小化、空調装置・蓄電池・燃料電池等のエネルギー関連設備の運用の最適化といった効果が期待され、様々な取り組みが行われている。住宅における各種家電製品、オフィスにおけるPCや事務製品、データセンターにおけるサーバ群などの消費電力や室温のモニタリング、各種制御を行うものである<sup>(4)</sup>。今後も、再生可能エネルギーの利用や電力の地産地消、AIによる制御の自動化や改善といったトレンドが進展すると考えられ、ICT装置とそのサービスに支えられたエネルギーマネジメントの更なる高度化が期待される。

## 2.2 ICT装置・設備の環境負荷低減

### 2.2.1 ICT装置の省エネ化

半導体製造技術の進展に伴い、論理回路が微細化し、プロセッサの処理能力の向上、消費電力の削減が進んでいる。しかしながら微細化に伴いトランジスタの漏れ電流が増えるため、消費電力の削減が難しくなっており、CPUはコア数を増やして処理能力を強化する<sup>(5)</sup>といった方向性にある。回路面ではパワーゲーティングにより不要な回路は停止させる、スリープモードを多用す

る、モード間の遷移を早くするなどの地道な研究開発が続けられている<sup>(6), (7)</sup>。論理ゲートそのものを不揮発化して、電流を流さなくても論理状態を維持できるようにする、電子単体を操作できるゲートにして飛躍的に低電力化を図る等の基礎研究も進められており<sup>(8), (9)</sup>、これらの技術が実現すると桁違いに消費電力が削減できると予想され、将来の実用化が期待される。

通信、コンピューティングにおけるアーキテクチャ面の改良もある。処理能力の向上、処理内容の高度化に加え、消費電力の観点でも、仮想化技術により装置の機能集約やスリム化を図る<sup>(10)</sup>、ネットワーク上のユーザ端末に近い階層でデータ処理を行って通信量と遅延を抑えるといった研究開発が進められている。

### 2.2.2 給電システムの高効率化、省資源化

通信用のICT装置(以下、通信装置)が設置されている通信ビル(いわゆる電話局、通信局舎とも言う。)やデータセンターでは、24時間365日、休むことなくICT装置が稼動しているため、電源システムや空調システムも常に稼動し電力を消費しており、その低消費電力化は永遠の課題である。通信装置へ電力を供給する給電システムは、信頼性の向上や技術の進展とともに、集中給電から分散給電へと移り変わってきた<sup>(11)</sup>。デバイス、回路技術の進展とともに電源装置における電力損は低減、電力変換効率は向上してきた。旧来のアナログ電

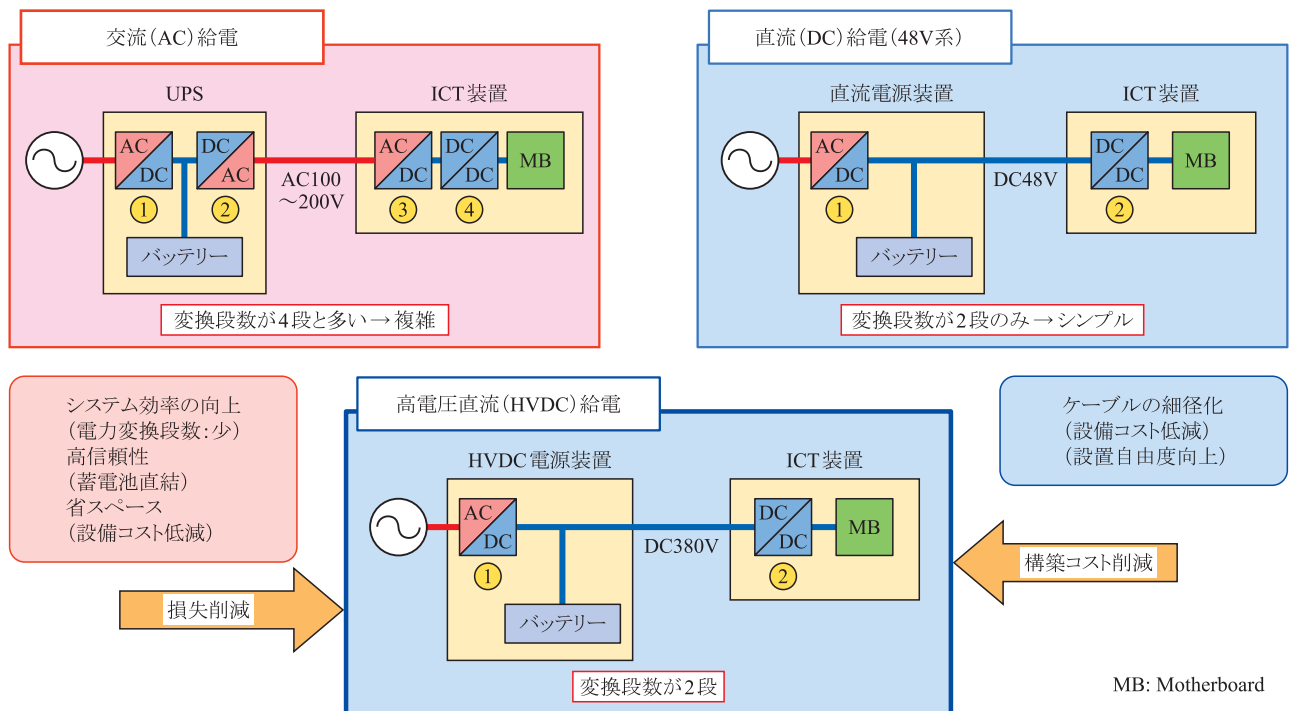


図2 高電圧直流（HVDC）給電システム<sup>(13)</sup> 交流給電システムは主にデータセンターで導入されているが、変換段階が多いことから電力損失が大きい。直流48Vの給電システムは極めて高い信頼性を持つが、ICT装置の電力消費の拡大に伴い、ケーブルの太径化や条数の増加等により施工性やICT装置の設置自由度に課題が出ている。HVDC給電システムはこれらの課題を解決可能である。

話回線が音声信号の伝達距離や安全性を考慮して直流48Vを用いていたため<sup>(12)</sup>、従来の通信装置では電源として直流48V、サーバ等のICT装置では交流100または200Vが主に使用されてきた。蓄電池によるバックアップを行う場合、図2<sup>(13)</sup>に示すように、交流よりも直流の方が電力変換が減って損失が減少し、電圧が高いほど効率を高めやすく、また電流が減少するためケーブルを減らすことができ、省資源化を図ることができる。こういった理由から、既に国際標準に規定されている直流380V<sup>(13), (14)</sup>で給電を行う高電圧直流（High Voltage Direct Current, 以下 HVDC）給電システムが開発され、既に導入が始まっている<sup>(11), (13), (14)</sup>。現在はまだ従来の直流48V、交流100/200Vで動作するICT装置が多く、整流装置はHVDC給電システムを導入しても、当面はHVDCから直流48Vや交流100/200Vに変換する装置を介してICT装置に給電する形態が多いと考えられる。今後、HVDCで動作するICT装置の普及拡大により、設備全体における効率の向上が期待される。

また、エネルギーマネジメントを進め、更なるエネルギーの消費を抑えるためには電源のIoT化が容易なデジタル制御電源の進展が期待される<sup>(15)</sup>。更に、整流装置、電力変換装置等のエネルギー関連装置に使用可能な新しいパワーデバイスの開発、普及も進みつつあり、従来からのシリコン（Si）デバイスに代わるものとして炭化けい素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）のバ

ワーデバイスが登場してきている。これらはSiデバイスよりも電流を流す際の抵抗が低く損失が小さい、高速スイッチングが可能、高温動作が可能で放熱構造を簡略化できて装置の小形化が図れるなど、大きな効果が見込める<sup>(16)</sup>。今後、広く普及が進むと期待される。

### 2.2.3 空調の高効率化

前述のとおり、ICT装置は24時間365日休むことなく稼動し、更に情報処理量の拡大とともに消費電力も増大し続け、比例して発熱量も増大している。そのICT装置を冷却、すなわち熱をビル外部に排出するための空調装置についても様々な課題があり、技術開発が進められてきた。単純に増大する発熱量へ対応するだけでなく、気流の流れ方の最適化、局所的に高発熱装置がある場合にフロア全体を過剰に冷却させずに消費電力抑制、空調装置そのものの消費電力の削減等である。空調装置の消費電力を減らすために、例えば冷媒の圧縮機を使う代わりに寒冷な外気を利用し、ポンプで冷媒を循環させる間接外気冷房といった方式が実用化され、導入も進められている<sup>(17)</sup>。

現在は空気を循環させることでICT装置の熱を空調機まで運んで排熱するという仕組みであるが、今後は熱を輸送する手段として液体を用いる液冷が多用されていくことが考えられる。一方でICT装置をより高温で動作させられれば、冷却に掛かる設備と消費電力を減らせ



るので、その方向の技術検討も進展するであろう。

### 3. 通信サービスの強靱化

#### 3.1 防災（停電）対策

情報通信においては、いかなる事態でも通信断を回避するようにすること、万一通信断となっても速やかに復旧させることが求められる。冗長構成となるようネットワークを構築することに加え、通信装置の動作継続のために給電システムには停止しないようなシステム構成と運用が必要とされる。通信ビルにおいては、前述のとおり、現状、ほとんどの通信装置は直流 48 V で動作する。直流の場合、停電時のバックアップは蓄電池を直接

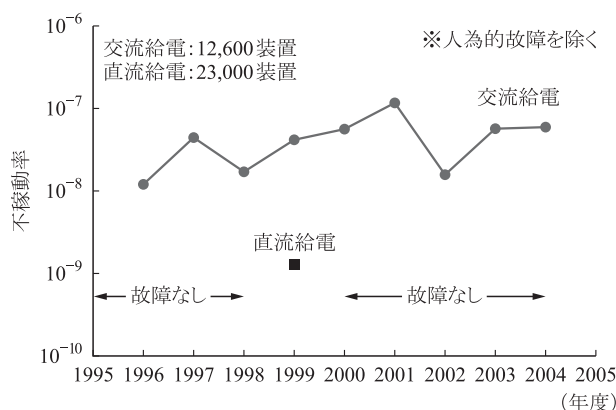


図3 交流給電システムと直流給電システムの不稼働率<sup>(11)</sup> 直流給電システムでは、蓄電池の管理をしっかりしておけば、給電系は高い信頼度を維持することができる。図は NTT グループにおける不稼働率の比較である。直流給電にある唯一の点は、3.3 で触れている事故によるものである。

用いることができるので、信頼度が極めて高い。後述する交流の場合よりも、図3<sup>(11)</sup>に示すように、不稼働率で一桁以上の違いがある。一方、インターネットを構成する各種スイッチ、サーバ等は交流 100/200 V で動作するものが多い。交流のバックアップは、UPS (Uninterruptible Power Supply: 無停電電源装置) が担うことになるが、蓄電池による電力蓄積を介するため、電力変換が複数回に及び、そのため損失が大きくなり、不稼働率は直流のシステムには及ばない<sup>(11)</sup>。

蓄電池は、現在、通信ビルでは鉛蓄電池が主に使用されているが、今後はエネルギー密度が高く軽量なりチウムイオン電池の使用が広がっていくものと考えられる。更に将来は、エネルギー密度の向上等の性能向上を狙って、空気電池やナトリウムイオン電池等、様々な素材や構造の新型電池の研究開発が進んでいるため<sup>(18), (19)</sup>、新たな電池が採用されていくと期待される。

#### 3.2 バックアップ兼 CO<sub>2</sub> 排出量低減の発電

通信ビルやデータセンターでは、商用電源の停電に対する対策は、蓄電池と、軽油等を燃料とするエンジン発電機を用いるのが通例である。しかしながら東日本大震災ではバックアップ可能時間を超える停電が発生しており、商用電力への依存度低減やバックアップ時間の長時間化が必要とされている<sup>(19)</sup>。その対策として、図4<sup>(19)</sup>に示すように、使用電力の一定量を自家発電によって賄うといった方策が検討されている。

CO<sub>2</sub> 排出量削減という観点から、太陽光・風力等の再生可能エネルギー、都市ガスや水素を燃料とする燃料電池等の発電手段が選択し得る<sup>(19)</sup>。現状、太陽光発電などは通信ビル等の敷地内設置の程度では通信ビルの電

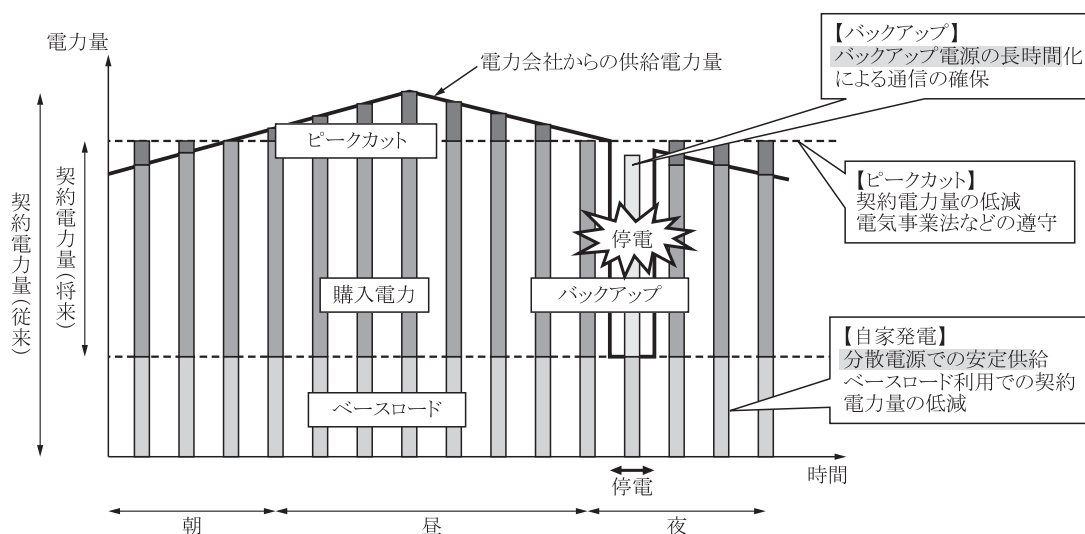


図4 通信設備の停電耐力向上に向けた取組み<sup>(19)</sup> 大規模災害発生時にも通信を継続させるためには、蓄電池、非常用発電機によるバックアップの長時間化、電力不足等に対応するための電力使用量の平準化、使用電力の一定量を自家発電により賄うことで商用電力への依存を低減させる、といった方策が考えられる。

力需要に足りないため、部分的な電力供給にとどまる。いろいろな発電手段が考えられるが、条件により取舍選択が必要である。適正な選択と効果的な運用といった観点での今後の進歩が期待される。

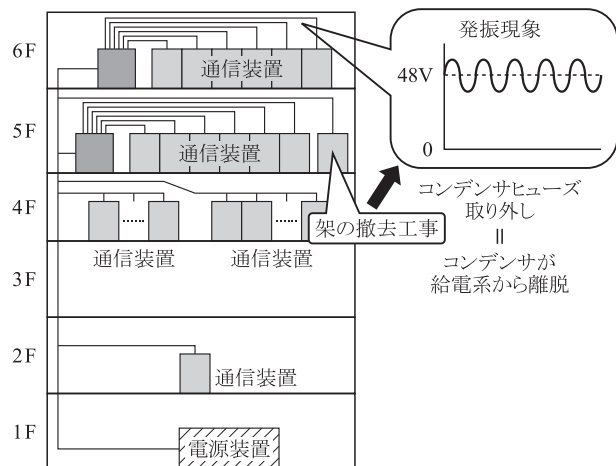


図5 直流給電系の不安定現象の発生イメージ（文献(11)，(20)を基に作成） 文献(18)の故障発生状況の概略である。1階にある電源装置から直流48Vで各通信装置に給電されている状態で、使用しなくなった通信装置を電源系から切り離れたとき、移動中の通信装置への給電電圧に正弦波状の電圧が重畳し、過電圧や低電圧により通信装置が停止した。

### 3.3 給電系の安定化（発振現象防止）

かつて通信ビルで大規模な障害が発生し、結果として半日近く専用線の通信に影響を与え、航空管制も不能に陥る事故が発生した<sup>(20)</sup>。原因は、給電系のインダクタンス成分と通信装置が定電力で負性抵抗の特性であるために、設備の工事中に発振が発生する条件に至ったものである<sup>(21)</sup>。この現象の発生イメージを図5に、原理を理解するための等価回路を図6<sup>(11)</sup>に示す。この事故を契機に、安定に運用するための定量的な条件の明確化や、安全に工事を行うための施策等が整備され、その後の事故再発は防止されてきた。

今後もサーバ、ルータ等のICT装置の処理能力拡大に伴い、ラック当りの消費電力が増加し、リスクは大きくなる傾向であり、継続して漏れなく発振防止策の着実な実施が必要である。前述のHVDC給電システムは、電圧が上がって電流が減るために発振のリスクは減少する。この観点でも、HVDC給電システムへの転換のメリットがある。

## 4. おわりに

通信に関わる環境とエネルギーに関する技術の主要なものを紹介してきた。重要な項目が漏れているとお叱りを受ける部分もあるかと思うが、全てを網羅しきれないのは筆者の力不足によるものであり、御容赦頂ければ幸

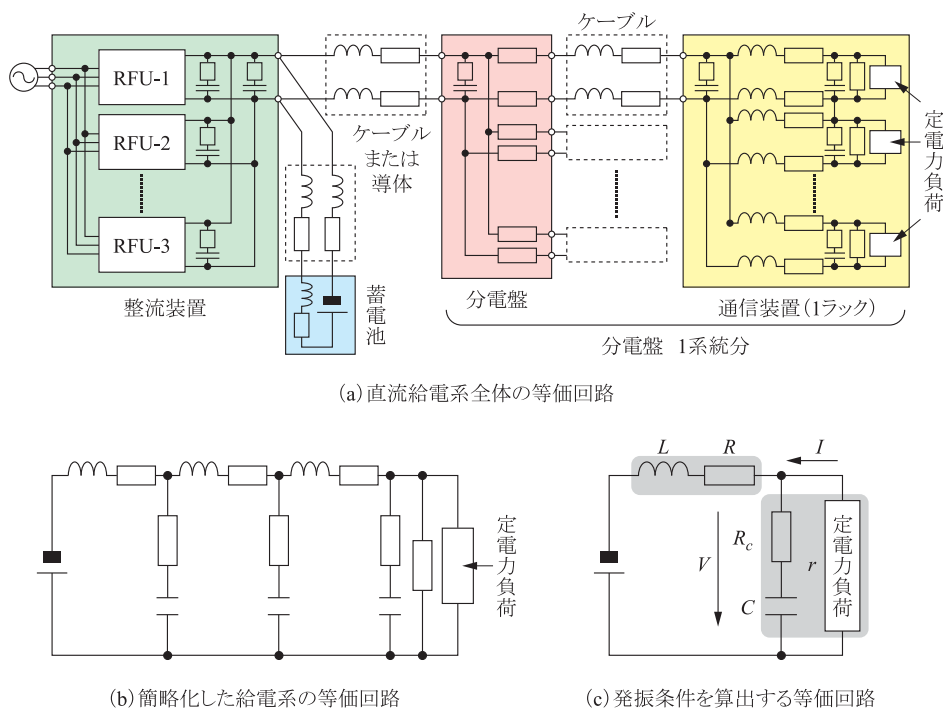


図6 直流給電系の等価回路<sup>(11)</sup> (a)は給電系全体、(b)は複数の通信装置ラックをまとめて簡略化後、(c)は原理を示すための等価回路である。給電電流 $I$ が増大すると発振しやすくなる。発振にくくするには、コンデンサ容量 $C$ を大きくしたり、高電圧にして電流が小さくなるようにすればよい。

いである。環境、エネルギーに関わる技術は、人々のあれがしたい、これができたらいいな、という付加価値に直接つながるものではないが、社会を豊かにする装置やサービスが、確実に動き、かつ環境負荷を抑制していることを支えるものである。提供されるサービスは移り変わろうとも、将来も継続して人類に貢献する重要な技術分野であり、更なる発展を期待している。

## 文 献

- (1) 環境省, “地球温暖化対策計画”の閣議決定について,”平成28年5月13日報道発表資料, <http://www.env.go.jp/press/102512.html>
- (2) 飯橋真輔, 武井雄一郎, 北林博人, “環境アセスメント共通基盤の開発,” NTT 技術ジャーナル, vol. 24, no. 11, pp. 29-32, Nov. 2012.
- (3) 長尾友美, 武井雄一郎, 飯橋真輔, “By ICT 効果評価技術の開発,” NTT 技術ジャーナル, vol. 27, no. 1, pp. 14-18, Jan. 2015.
- (4) 中村雅之, 竹内 章, 榎本裕幸, “データセンタエネルギー管理システム (DEMS) の ICT-空調連係制御技術による省電力への取り組み,” NTT 技術ジャーナル, vol. 24, no. 11, pp. 15-19, Nov. 2012.
- (5) 黒田忠広, ““脳”の省電力性能を目指して,” 日経エレクトロニクス, no. 1157, pp. 91-98, July 2015.
- (6) 田所将志, 品川晃祥, 氏川裕隆, 野村紘子, 藤原稔久, 秋元守, 柴田朋子, “ネットワーク装置の省電力化技術とその応用—ONU・無線 LAN スリープ技術,” NTT 技術ジャーナル, vol. 26, no. 1, pp. 27-32, Jan. 2014.
- (7) 氏川裕隆, 柴田朋子, 鈴木謙一, “光アクセス系通信装置の省電力化の取り組み,” NTT 技術ジャーナル, vol. 27, no. 1, pp. 32-35, Jan. 2015.
- (8) 今井拓司, 中道 理, 木村雅秀, 大下淳一, “半導体 次の担い手,” 日経エレクトロニクス, no. 1112, pp. 27-43, July 2013.
- (9) 藤原 聡, “100年後の人にも評価してもらえるような仕事を残す。電子1個を操る「単原子」デバイスに夢をかけて,” NTT 技術ジャーナル, Vol. 28, no. 7, pp. 34-37, July 2016.
- (10) 古賀淳一, 栗本 崇, 濱野貴文, 寺内 敦, 宮坂昌宏, “ネットワーク系通信装置の省電力化の取り組み,” NTT 技術ジャーナル, vol. 27, no. 1, pp. 29-31, Jan. 2015.
- (11) 山下隆司, 室山誠一, 山崎幹夫, “情報通信用給電システムの変遷と今後の課題,” 年報 NTT ファシリティーズ総研レポート, no. 23, pp. 13-19, June 2013.
- (12) 米田正明, 電話はなぜつながるのか 知っておきたい NTT 電話, IP 電話, 携帯電話の基礎知識, 日経 BP 社, 東京, 2006.
- (13) 山下暢彦, 田中 徹, 加藤 潤, 櫻井 敦, 岩戸 健, 新宅幹雄, 高橋晶子, 浅木森孔貴, 花岡直樹, 松盛裕明, “高電圧直流給電システム導入拡大に向けた取り組み,” NTT 技術ジャーナル,

vol. 27, no. 1, pp. 36-40, Jan. 2015.

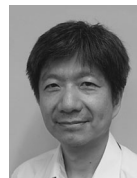
- (14) 日本電信電話株式会社, “世界初, 次世代給電インタフェースに関するテクニカルリクワイアメントの公開について,” 2014年8月4日ニュースリリース, <http://www.ntt.co.jp/news2014/1408/140804a.html>
- (15) H. Maruta, D. Mitsutake, M. Motomura, and F. Kurokawa, “Transient response of reference modified digital PID control DC-DC converters with neural network prediction,” IEICE Trans. Commun., vol. E99-B, no. 11, pp. 2340-2350, Nov. 2016.
- (16) 根津 禎, “パワーデバイス, 世界競争,” 日経エレクトロニクス, no. 1172, pp. 27-47, Oct. 2016.
- (17) 宇田川陽介, 松尾英徳, “情報通信分野における給電技術・空調技術,” NTT 技術ジャーナル, vol. 26, no. 7, pp. 13-19, Nov. 2014.
- (18) 小久見善八, 荒井 創, “総論: 二次電池の研究開発と利用の動向,” 電気評論, vol. 101, no. 12, pp. 7-12, Dec. 2016.
- (19) 小林隆一, 林 克也, 杉田 敏, “通信設備の停電耐力を向上させる蓄電池および燃料電池の開発,” NTT 技術ジャーナル, vol. 24, no. 11, pp. 20-24, Nov. 2012.
- (20) 日本電信電話株式会社, “東淀川ビル故障発生原因について,” 1998年11月4日ニュースリリース, <http://www.ntt.co.jp/news/news98/9811/981104.html>
- (21) T. Aoki, M. Yamasaki, T. Takeda, T. Tanaka, H. Harada, and K. Nakamura, “Guidelines for power-supply systems for datacom equipment in NTT,” Proc. 24th Annual International Telecommunications Energy Conference, no. 9-1, pp. 134-139, Montreal, Canada, Sept. 2002.

(平成29年3月3日受付 平成29年3月10日最終受付)



くろかわ ふじお  
黒川 不二雄 (正員: シニア会員)

昭51福岡工大・工・電子卒。昭52同大学・工・助手, 昭59・長崎大・工・助手, 平22同大学・工・教授。平29長崎総合科学大学大学院・特命教授, 工博。この間, 電子機器用電源, 太陽光発電システム, 照明用電子安定器, デジタル制御電源等の研究に従事。電気学会, 情報処理学会, 映像情報メディア学会各正員, 照明学会, IEEE 各フェロー。



やました のぶひこ  
山下 暢彦 (正員)

昭62九工大・工・電子卒。同年日本電信電話株式会社入社。以来, パワー MOSFET, DC-DC コンバータの研究に従事。(株)エネット, (株)NTT ファシリティーズを経て, 現在, NTT ネットワーク基盤技術研究所環境基盤プロジェクト主幹研究員。平7年度本会学術奨励賞, 平16年度本会通信ソサイエティ活動功労感謝状各受賞。平29-07 から(株)NTT ファシリティーズへ異動。