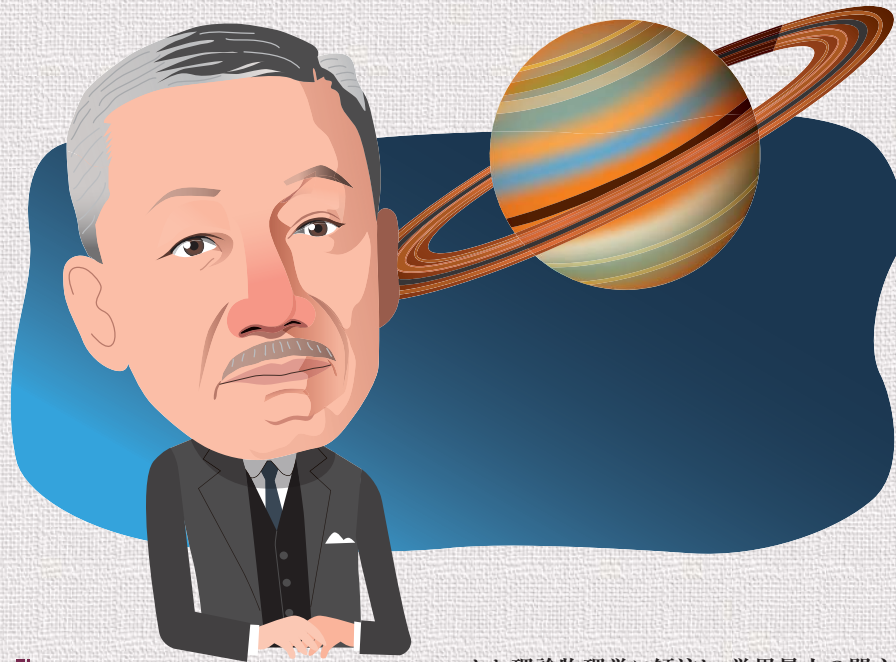
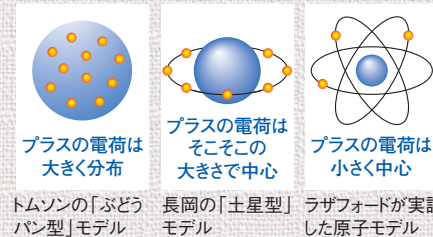


世界で初めて土星型原子モデルを提唱



その後、トムソンの弟子にあたる英国のラザフォードが「ぶどうパン型モデル」を実験で検証すると、なんと師の説を否定する結果が出たのです。「原子の大半は何もない空間で、小さいが密度の大きな重い粒（原子核）が中心にあり、その外側を電子が高速で回っている」。長岡のモデルは、原子核の大きさや電子の数こそ違っていたものの、原子の基本構造はラザフォードが実証したものと同じでした。



ドイツ留学で世紀の大発見に遭遇

日本の物理学の黎明期に、独創的な発想で世界レベルの研究を成した科学者がいました。長岡半太郎は、1865年（慶応元年）、長崎・大村藩士の家に生まれました。明治維新後、岩倉具視の欧米使節団に随行した父は「これからは西洋文明の時代だ」と半太郎に英語の習得を奨め、一家そろって上京します。半太郎は暗記こそ苦手でしたが、自ら考え抜いて答えを導く数学に才能を発揮し、やがて東京帝国大学理学部に進学。大学院で鉄などの磁性体に磁力が作用すると磁性体に変形する「磁気歪」を研究します。

そして、1893年、28歳で理学博士となった半太郎はドイツに留学。彼を待っていたのは世紀の大発見でした。1895年にレントゲンがX線を、翌年にはベクレルが放射能を発見し、世界中に反響を巻き起こしました。その震源地で多くのことを見聞し、同時に電磁気学で著名な理論物理学者マクスウェルの論文集を入手して感銘を受けました。この本が後に長岡に劇的なインスピレーションを与えます。

原子の基本構造は土星型だった

帰国して教授となった長岡は、ドイツで接

した理論物理学に傾注し、学界最大の関心事だった「原子の構造」の研究に取り組みます。当時、英国のケルビン卿が「原子は、プラスの電気を持つ均一な物質の中に、マイナスの電気を持つ電子がバラバラに存在する」という説を唱えましたが長岡は納得できませんでした。そして、複雑な計算を繰り返し辿り着いたのが、マクスウェルの論文集にあった「土星の環」でした。

「土星の環を形成する衛星群が一定の形を保っているのは、衛星同士が引力で引き合いつつ回転する時、平面上に並んで安定するからだ」とあります。これにインスピレーションを得た長岡は「プラスの電気を持つ球があり、周りを衛星のような電子が運動していれば、原子の安定は保たれる」という仮説を立てます。

そして、1903年（38歳）、日本で「土星型原子モデル」を発表し、翌年に外国の雑誌に論文を寄稿しました。一方、英国の物理学者トムソンは「原子はプラスの電気を持つ球で、その中にマイナスの電気を持つ電子が埋まった「ぶどうパン」のような構造」という説を発表します。学界では、電子の発見者でもあるトムソンの説を有力視し、土星型モデルは注目されませんでした。

一に研究者、二に研究者、三に研究者

結局、長岡は原子構造の最初の発見者とはなりません。ラザフォードが実験により「原子核の存在を突き止めた当時、長岡の原子モデルを知らなかった」と主張し、半太郎も「この原子モデルは、将来、本当の原子構造を完成させるためのヒントに過ぎない」と控え目に主張していたことが要因と言われています。

その後、長岡は後進の育成に力を注ぎます。物理学の大変革時代に、キュリー夫妻、ラザフォード、アインシュタインといった先駆者たちの情熱を垣間見た長岡は「一に研究者、二に研究者、三に研究者」と人材育成の重要性を説き、本多光太郎、寺田寅彦、仁科芳雄など、後に日本の物理学をけん引する研究者を育てます。

そして、大阪帝国大学の設立に関わり初代総長に就任、理化学研究所の主任研究員も歴任し、第1回文化勲章を受章しました。また、早くから湯川秀樹の研究を評価し、1939年（昭和14年）にノーベル委員会に推薦。10年後に日本初のノーベル賞受賞が実現します。長岡は湯川の記念講演を傍聴した翌年、85年の生涯を閉じました。

放射線出前教室・出張授業を実施します。お気軽にお問い合わせください。詳しくはHPをご覧ください。

中部原子力懇談会

〒460-0008 名古屋市中区栄2-10-19 名古屋商工会議所ビル6F
TEL:052-223-6616 FAX:052-231-7279
<https://www.chugenkon.org>

ホームページから本誌の定期送付のお申し込みが可能です。

この印刷物に使用している用紙は、森を元気にするための間伐と間伐材の有効活用役に立ちます。



この冊子は地球環境保護のため、植物性大豆油インクを使用し、有害な廃液の発生が少なく水なし印刷をしています。

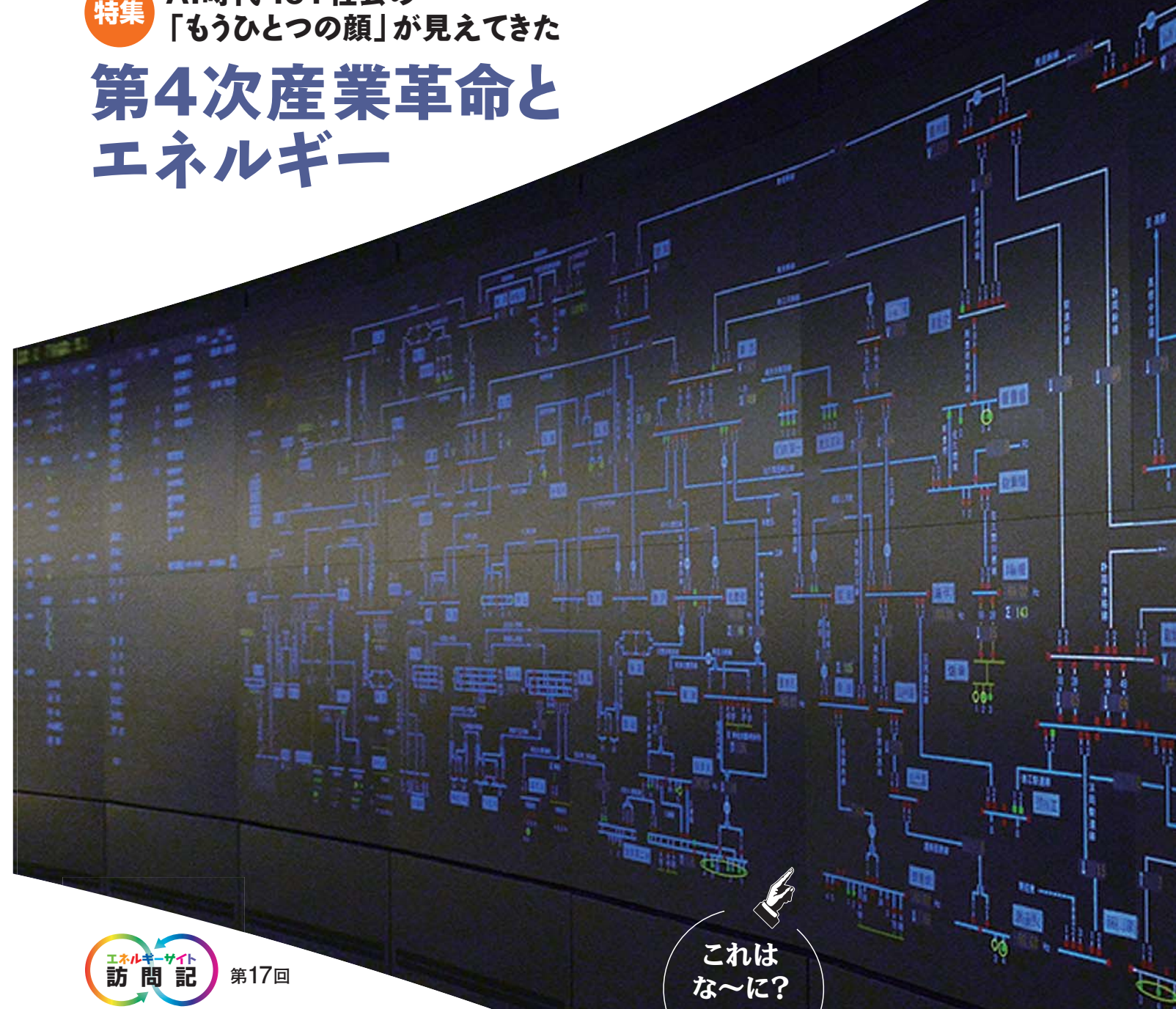


社会で役立つ放射線13

重粒子線でがんを切らずに治す！
先進治療と研究開発の拠点

特集 AI時代・IoT社会の
「もうひとつの顔」が見えてきた

第4次産業革命とエネルギー



エネルギーサイト
訪問記 第17回

常に安定した電気を届けるために
24時間365日、発電量をコントロール

中部電力(株) 電力ネットワークカンパニー

中央給電指令所

これは
な～に？
詳しくは4ページを
ご覧ください

vol. 115

2019年6月発行(年3回刊)

発行/中部原子力懇談会
名古屋市中区栄2-10-19 名古屋商工会議所ビル6F

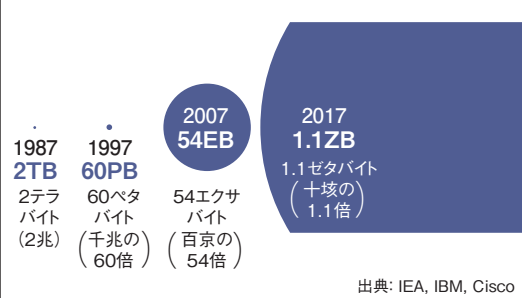


世界人口の半分が
インターネットを使い、
携帯電話の登録者数は
77億人に達し、
世界のデータ送受信量は、
ゼタ(10²¹)バイト突破!

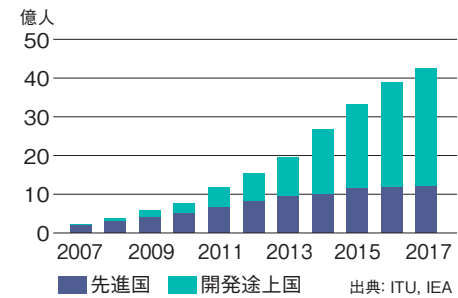
(いずれも2017年データ)

この10年間で、人工知能(AI)は実用化され、モノがインターネットでつながるIoTやビッグデータの活用で暮らしが劇的に変化しています。現代社会は、膨大なデータが超高速で処理され、同時にインターネットを通じてやりとりされることで成り立っています。これが「第4次産業革命」であり、18世紀末の蒸気機関による生産・輸送の機械化(第1次)、19世紀後半の化学・石油・電気による大量生産(第2次)、20世紀後半のコンピュータによる自動化(第3次)に次ぐ大変革です。そして、今後もインターネットの利用者は途上国を中心に増え続け、クルマの自動運転、IoT家電、AIによる制御技術の普及など「社会のスマート化」に伴い、データ処理量は加速度的に増えていきます。

◆世界のインターネット送受信量の変遷



◆モバイルネットワークの登録者

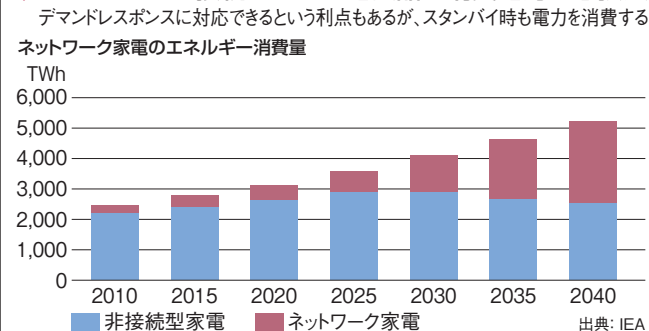


インターネット家電の「待機電力」、CO2排出量の抑制のための電気自動車へのシフト、AIの普及などにより、電力需要は増加すると予想

ホームオートメーションでは、音声やスマートフォンで照明・エアコン・テレビなどが作動したり、外出先から操作できたりします。これらの機器は常にインターネットに接続され、多くの「待機電力」を消費しています。また、地球温暖化の抑制に向けてクルマはEV(電気自動車)へのシフトが顕著で、渋滞回避や安全確保の情報を得るためインターネットとつながるコネクティッド・カーも急増中です。

これらの仕組みを支えるのが膨大な情報を保管・出し入れするクラウド・サービスで、その機能を担うデータセンター

◆ネットワークに接続された家電製品の消費電力が急拡大



特集

AI時代・IoT社会の「もうひとつの

第4次産業エネルギー

顔」が見えてきた

革命と

※この特集は1月に開催した情勢講演会をもとに編集部が再構成したものです。文中のデータ等は講演会時点の数値です。



慶應義塾大学大学院 特任教授

えん どう のり こ
遠藤 典子氏

京都大学大学院エネルギー科学研究科博士課程修了。博士(エネルギー科学)。専門はエネルギー政策、リスクガバナンス。経済誌副編集長を経て、2015年から現職。著書『原子力損害賠償制度の研究—東京電力福島原発事故からの考察』(岩波書店)で第14回大佛次郎論壇賞、第34回エネルギーフォーラム賞を受賞。現在、財政制度等審議会、産業構造審議会、総合資源エネルギー調査会、原子力委員会原子力損害賠償専門部会、内閣府宇宙政策委員会、原子力損害賠償・廃炉等支援機構運営委員会、中央環境審議会などで委員を務める。

高度な電化社会を支える万能なエネルギー源はなく、多様な電源によるバランスの良い組み合わせが重要

「第4次産業革命」がもたらすのは、高度に電化された社会です。しかし、このシステムを支えるには莫大な電力が必要で、安定して供給でき、エネルギー変換効率の高い電源が求められます。

ただ、化石燃料・再生可能エネルギー・原子力など、どれをとっても一長一短で、資源調達の地政学リスク、地球温暖化や大気汚染などの環境リスク、気象による不安定さやパワー不足、事故が発生した時の社会的な影響の大きさなど、それぞれ欠点やリスクがあり、万能のエネルギー源は存在しません。電気を貯めておく技術も、大量の電力需要を賄うレベルに達するには相当の年月を要します。

しかも送電網で結ばれた欧州と異なり、島国のうえに自然災害の多い日本では、いざという時に被災地へ運びやすい石炭や石油も無くすわけにはいきません。

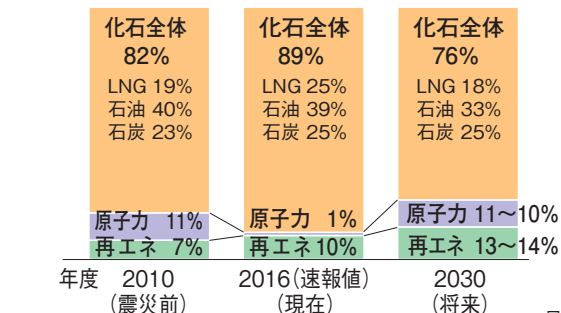
こうした実情から、日本では個々の特長を活かした多様な電源をバランス良く組み合わせることが重要であり、安全性を大前提に「エネルギー自給率の向上」「電力コストの引き下げ」「温室効果ガスの削減」を柱にしたエネルギー政策が進められています。

◆2030年をターゲットとした日本のエネルギー政策

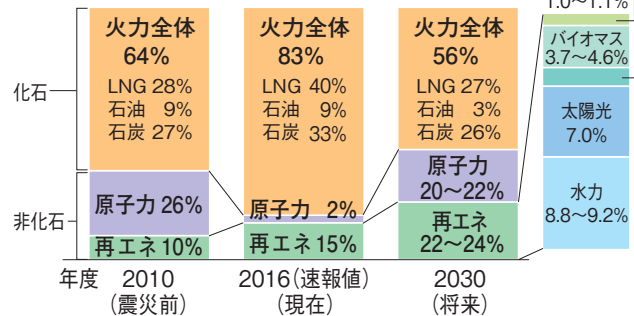
<3E+Sに関する政策目標>



●1次エネルギー供給



●電源構成



出所:資源エネルギー庁

「第5次エネルギー基本計画」を達成するには、原子力発電事業の持続可能性を担保する国の関わり方や法規制の整備が不可欠

国は2030年の電源構成における原子力発電比率を20~22%としています。原子炉の運転期間40年ルール(1回限り最大20年延長)の枠組みの中で、相当数の原子力発電所を40年以上稼働させる必要があります。しかし、福島第一原発の事故以降の厳しい環境の中でこの目標を達成するのは容易ではありません。さらに、2050年以降も原子力発電を続けるため、巨額な建設費を投じて新型炉にリプレースできる電力会社は何社あるでしょうか。

私は、エネルギーや原子力発電・廃炉などに関する様々な委員会で議論に参加していますが、こうした課題を解決するには、国の強力なリーダーシップと支援体制のもと、電力会社の枠を超えた連携・協力が不可欠と考えています。

また、原子力発電の持続可能性を担保するには、①電力会社は安全投資を継続し、事故リスクへの備えを可能にする強い財務基盤を持つ ②国は電力会社が事業の将来を予見できるエネルギー・原子力政策の長期的なコミットメントを提示する ③公社化も含めた国の関与を本格的かつ具体的に検討する ④エネルギー政策を円滑に進めるため原子力事業の再編を可能にする電気事業法や炉等規正法の改正が必要と考えています。

◆日本の原子力発電所の再稼働と新規制基準適用状況

2019年1月10日時点



中部地方を中心に、エネルギーの安定供給や次世代に向けた先端研究に関わる施設をシーブレス編集部が訪問し、その取り組みをご紹介します。



新
ナビゲーターの
ゴンです
中原(チューゲンゴン)の
忠犬ゴンが、
しっかりケン学して
ご報告します。

常に安定した電気を届けるために、24時間 365日、発電量をコントロール

中部電力(株) 電力ネットワークカンパニー

中央給電指令所



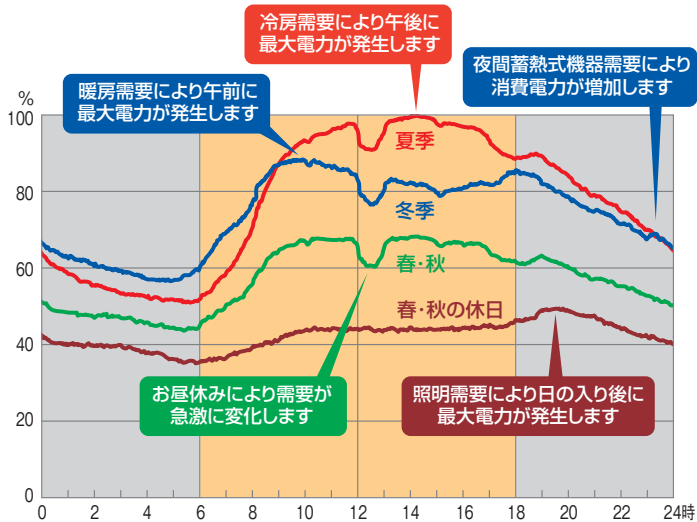
時々刻々と変化する「電気の消費量と同量の発電量」を維持するために

電気の消費量は、季節・気象や社会の動きを敏感に反映します。例えば、エアコンや暖房機器が活躍する夏・冬は、春・秋に比べて多くの電気が使われます。また、1日の中でも、人々が活動する昼と眠りにつく夜では大きな差があり、晴天と雨天でも消費量は変わります。

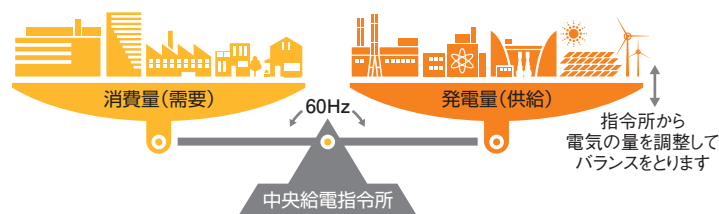
しかし、電気は貯めることができないため、瞬間瞬時の消費量(需要)と発電量(供給)を常に一致させること(同時同量)が求められます。同時同量を維持できず、消費量と発電量のバランスが崩れると周波数(中部電力管内以西は60ヘルツ)が変動し、安定した電気が送れません。例えば、周波数が乱れると製造工場で使用されている同期モータの回転数が乱れて製品への悪影響が生じることもあります。「周波数が一定であること」は、品質の良い電気の条件の一つです。

この「同時同量」を維持するため、24時間365日、消費電力を細かく予測しながら管内の発電量を監視・制御しているのが「中央給電指令所」です。

◆1日の電気の使われ方



◆電源の特性を活かし発電効率を追求しながら「同時同量」を維持



周波数を一定に保つために、需要を予測し、詳細な発電計画を立案

周波数を一定に維持するため、中央給電指令所はどんな業務を行っているのか、運営課の酒井副長と刈谷主任に伺いました。



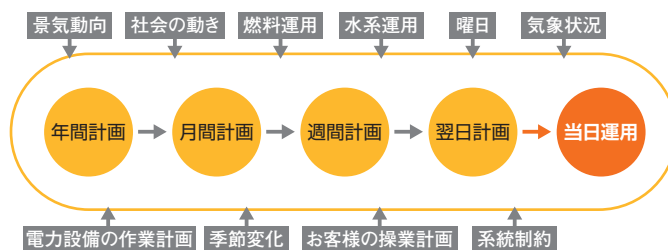
中央給電指令所 運営課 副長 酒井 基弘さん



中央給電指令所 運営課 主任 刈谷 英里さん

「まず過去のデータを様々な観点から分析し、今後の消費電力量を予測し、必要な電力を確保した上で、『いつ、どこの発電所のどの発電機で、どれだけ発電するか』を決定します。これが発電計画です。主な供給地域は、愛知・静岡(富士川以西)・三重・岐阜・長野の中部5県下で、面積は約3万9,000km²、人口は約1,600万人です。そして、巨大で複雑な電力系統を効率的・経済的に運用するため、年間・月間・週間・翌日・と段階を踏みながら、需要と供給の電力量が同量になるよう予測精度を高めています。その際、過去のデータ分析に加え、景気動向や気象情報、いま世の中が注目している事柄も考慮します。例えば、オリンピックやワールドカップの開催時には、テレビ・照明・冷暖房などの需要が増加することもあります。これら様々な要素を織り込み、経験則も踏まえて需要を想定します」。

◆発電(需給)計画の立案



安定した電気の供給

- 必要な供給力の確保
- 適正な周波数の維持
- 適正な電圧の維持

合理的な設備総合運用

- 設備の効率的運用
- 経済的な燃料消費

24時間・365日、約70台の発電機の起動・停止、出力をコントロール

発電計画に基づき、各発電所に「発電機の起動・停止、発電出力」の指令を出します。制御する発電機は約70台に及び、1チーム4名の5チーム体制で、1日2交替、24時間・365日、周波数、需要の変化、各発電所の発電量、気象状況などを監視します。

指令員が特に緊張するのが自然災害時です。例えば、火力発電所では、台風の通過後、河川や海上の流木やゴミのため発電に必要な冷却水を取水できにくくなり、発電量を減らすか運転を停止させる時もあります。予想しにくい雷や電巻

責任重大の
厳しい仕事だね



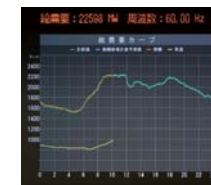
指令卓

モニターで需要の変化や電気の流れの状況を見て発電所や給電制御所などへの指令や周波数調整を行う。



気象情報表示

気象情報データのほか独自のレーダー観測データで、雷雲の強さと発生地域を自動表示。



総需要表示

現在の電気の総使用量(総需要)、周波数、気温などが一目で把握できるモニター。



発電機出力表示

水力・火力・原子力・太陽光・風力発電所の現在出力、出力調整信号などの状況を表示。



系統図表示

送電ルートのうち、主要な発電機や幹線を表示。これにより電気の流れや発電所の遮断機の開閉状況を把握。

表紙の
写真は
コレ!

太陽光発電の普及に伴う影響と取り組み

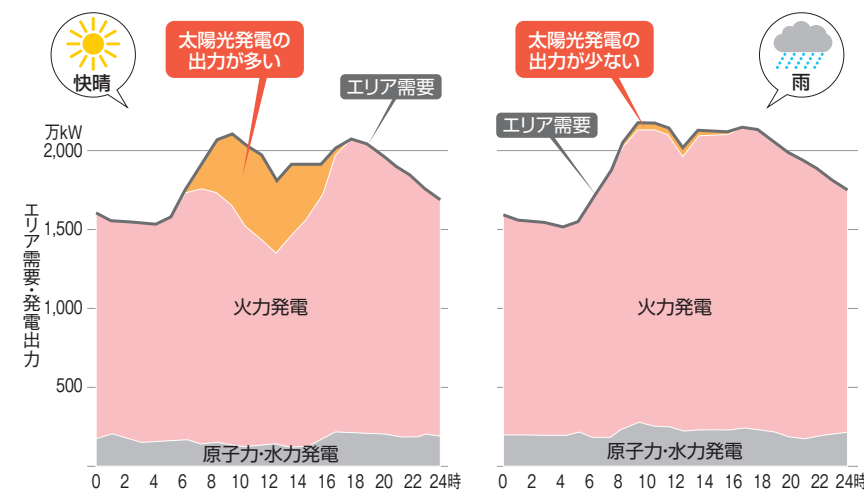
指令業務のご苦労を伺うと「近年の変化と課題は太陽光発電への対応です。わずかな数分間に発電量が増減する場合もあり、全体の発電量(1,000万~2,500万kW)に占める割合が高いため(最大出力700万kW程度)、系統への影響が大きく、従来とは比較にならないほど需給バランスの調整が難しくなっています。現状では太陽光発電自体の発電量を調整できないため、その分を火力発電などの供給力を減らし、周波数が変動しないよう全体をコントロールしています。太陽光発電の出力変動に対する取り組みとして、電力技術研究所などと共同で出力予測の精度を上げるための技術開発も進めています」とのこと。

太陽光発電への対応の難しさ

- 太陽光発電の出力予測は、主に日射量の予測値から計算している。そのため天気予報が外れると出力予測も外れることになる。
- 出力予測が外れた場合でも安定した電気を供給できるよう火力発電などのバックアップ電源の準備が必要。
- 導入量が増加し続け、春秋の土日曜やゴールデンウィークなど電力需要が少ない時期には、出力調整が可能な発電機の調整余力が少なくなっている。

中部電力は、2016年の電力の小売全面自由化などを機にカンパニー制(発電、電力ネットワーク、販売)を導入し、2020年4月には送配電部門の法的分離が実施されるなど歴史的な変革期にあります。そのため組織改編や業務移管を進めていますが、電気の安定供給の要となる中央給電指令所の重要性は変わることはありません。

◆太陽光出力の変動に対する電源運用の例



ハイパワー&ピンポイントでがん細胞を死滅させる

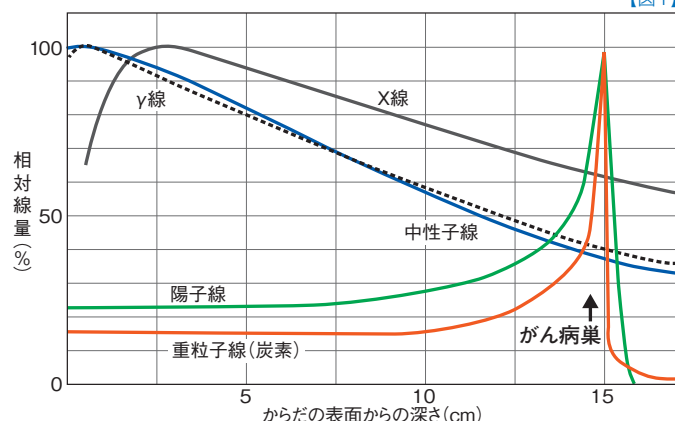
「放医研」の略称で知られる量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所は、1957年(昭和32年)に設立された、国内唯一の放射線医学に関する総合的な研究機関です。中でも、重粒子線によるがん治療では「世界一の実績」を誇り、新技術の開発、装置の小型化による重粒子線の普及にも注力しているトップランナーです。

重粒子線治療とは、どのようなものか、研究企画部の藤田さんに教えていただきました。「放射線治療は、放射線で細胞核のDNAに分子レベルの傷をつけ、細胞分裂できないようにして、がん細胞を殺します。中でも陽子線と重粒子線は体内で止まる時にその殺傷能力がピークとなり、そこに至るまでの部分ではあまり影響を与えない性質があります【図1】。そこで、そのピーク位置をがん病巣に合わせることで、病巣が重要な臓器の近くにあっても影響を抑え、がん細胞を狙い撃ちします。しかも、重粒子線はX線や陽子線に比べて約2〜3倍もがん細胞殺傷力が強いことから、少ない回数でがん細胞を死滅させる線量を照射できるので、患者さんに負担の少ない短期治療が可能になります。また、正常な細胞へ影響を与えないように、照射前の測定、器具による身体の固定、位置決めには特に留意しています」。

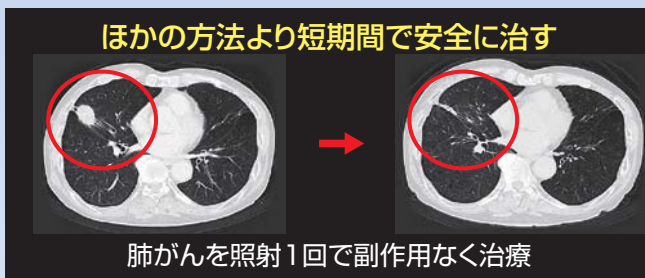


量子医学・医療部門
研究企画部 研究推進グループ
グループリーダー 藤田 敬さん

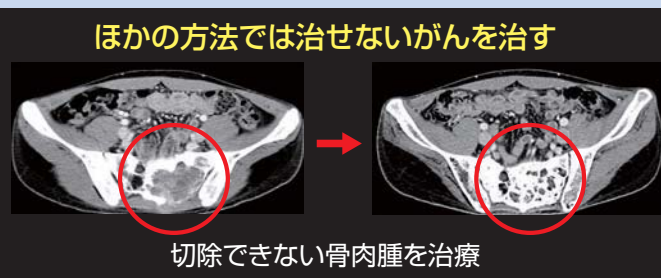
◆ 各種放射線の線量分布の比較



重粒子線はピーク線量がピンポイントで高くなる



肺がんを照射1回で副作用なく治療

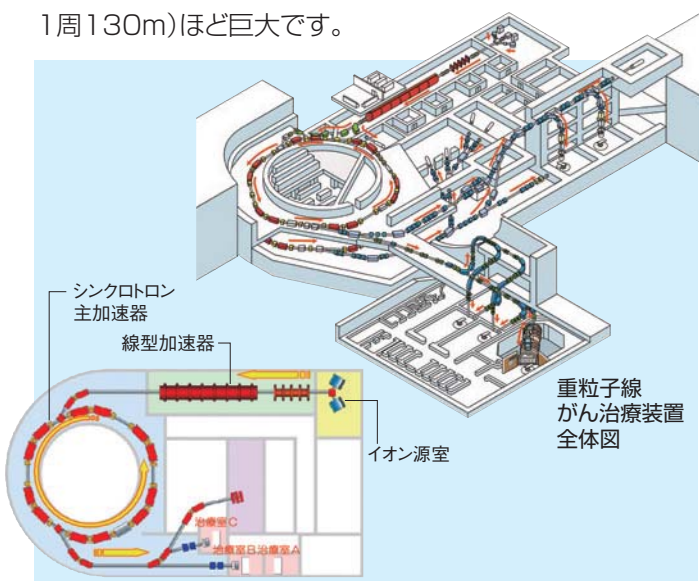


切除できない骨肉腫を治療

細胞を死滅させる線量を照射できるので、患者さんに負担の少ない短期治療が可能になります。また、正常な細胞へ影響を与えないように、照射前の測定、器具による身体の固定、位置決めには特に留意しています」。

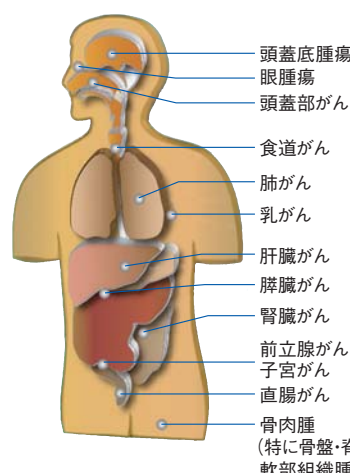
重粒子線がん治療装置HIMAC

国の「第一次対がん10年総合戦略」の一環として、放医研が1993年(平成5年)に世界に先駆けて開発したのが医用重粒子加速器である「重粒子線がん治療装置HIMAC(ハイマック)」です。X線によるがん治療で使われる電子加速器リニアックはとても小型ですが、重粒子線は電子より約2万倍も重い炭素イオンを光速の80%まで加速して生成するため、はるかに強力な加速器が必要です。そのためHIMACはサッカーコート(125m×65m、シンクロトロン1周130m)ほど巨大です。



世界の重粒子線治療の約50%を占める年間約700件、累計1万1,000人以上の治療実績

重粒子線は前述のとおり、がん病巣を攻撃する力が大きく、他の放射線治療より少ない照射回数で治療できます。また、骨肉腫など放射線が効きにくい(放射線抵抗性)がんには、X線や陽子線に比べて線量集中性と生物学的効果が高い重粒子線が特に有効です。がんの種類によって保険診療、先進医療、臨床試験等に分かれていますが、それでも年間で約700件、累計1万1,000人以上(1994年6月〜2018年3月)の実績を重ねています。このような放医研の実績を踏まえて、海外でも重粒子線治療が検討され、ドイツでは2009年に治療が開始されました。



◆ 重粒子線治療の主な適応

日帰りがん治療の実現!

他治療が困難だが重粒子線が有効な腫瘍

- 局所進行頭頸部がん 保険診療 (腺がん系、黒色腫、肉腫等)
- 頭蓋底腫瘍 保険診療
- 直腸がん術後骨盤内再発
- 切除非適応骨軟部肉腫 保険診療

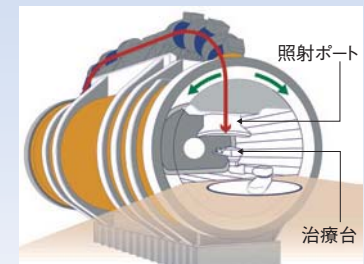
重粒子線での短期照射が有効な主な腫瘍

- I期非小細胞肺癌 1〜11回照射
- 肝臓がん 2回照射
- 膵臓がん 12回照射
- 前立腺がん 保険診療 1〜11回照射
- 子宮腺がん 20回照射
- 眼球悪性黒色腫 5回照射

ただ、広範囲の全身転移、外部から動きを制御できない管腔臓器(胃や腸など)のがんには、重粒子線治療は不向きです。なお、他に有効な治療があった乳がんは、根治目的で2013年から臨床試験を開始しています。

進化する照射技術、装置の小型化で普及促進

放医研では患者の負担軽減と治療効果の更なる向上を目的に、新たな技術開発を進めています。最近では、超伝導電磁石を採用した軽量化・小型化により、どんな角度からでも重粒子線を照射できる「回転ガントリ照射装置」を開発(上の図)。それまで垂直・水平以外の角度から照射する時は、患者を治療台ごと傾けていましたが、これによって楽な姿勢で治療を受けられるようになりました。また、肺や肝臓など呼吸によって位置が変化する臓器のがん治療では、体表面に発光ダイオードを取り付けたり、体内に金属マーカーを入れ、これらの動きを予測して重粒子線を照射していました。これをX線透視と画像処理によって臓器の動きと照射を精密に同期させ、照射すべき位置にがんが移動してきた時だけ重粒子線を照射する「呼吸同期3次元ビームスキャン照射法」を開発。副作用を抑え、治療効果を高めています。



さらに、治療以外の時間に物理・生物・工学分野の実験も行う放医研のHIMACと異なり、治療に特化した普及に向けた小型の加速器及び照射装置を開発。重粒子は炭素に絞って、施設の大きさも建設費も3分の1程度に抑えました。この普及型は、群馬大学・佐賀県・神奈川県・大阪府で運用され、山形大学でも建設が進められています。また、2018年には韓国と台湾で日本製の重粒子線治療装置の導入が決まりました。

◆ 普及型施設とHIMACの比較



今後の行事予定

詳細・参加希望については、当会ホームページまたはTEL052-223-6616までお問い合わせください。

■ 情勢講演会【本部開催】 主催:中部原子力懇談会 本部 参加費無料

開催日	場所	演題	講師
2019年9月17日(火) 15:00-17:00(14:30開場)	名古屋商工会議所 2階ホール	福島第一原子力発電所事故による健康影響(仮題)	おち さえ 越智 小枝氏 【東京慈恵医科大学 講師】
※7月中旬受付開始			
開催日	場所	演題	講師
2019年11月9日(土) 14:00-16:00(13:30開場)	掛川グランドホテル シャングリラスイート	低線量放射線と免疫、ストレス、癌 〜正しく理解することの重要性〜(仮題)	うの かづこ 宇野 賀寿子氏 【レイ・バスター医学研究センター 室長】
※9月中旬受付開始			
開催日	場所	演題	講師
2019年11月29日(金) 15:00-17:00(14:30開場)	名古屋商工会議所 2階ホール	改めて原子力を検証する 〜原子力なしで人類は生き残れるか?〜(仮題)	ならばやし だし 奈良林 直氏 【東京工業大学 特任教授】
※9月中旬受付開始			

What's Up?

そこが知りたい! 浜岡原子力発電所のいま

ここにフォーカス! 日本経済団体連合会 中西会長が浜岡を視察

2019年2月14日、日本経済団体連合から中西宏明会長、中部経済界から中部経済連合会の豊田鐵郎会長、名古屋商工会議所の山本亜土会頭など、総勢約40名が中部電力(株)の浜岡原子力発電所を視察しました。中西会長は安全対策の現状を視察した後、「万全な対策という印象を受けた。早く再稼働したいと正直そう思う」と語りました。また同時に

「経済界の皆さんに実際に現場を見ていただくことは大きな意味がある」と述べ、対策の状況を現場で確認できる視察の有用性についても言及しました。視察団を案内した中部電力(株)の水野明久会長は「(安全対策で)やれることは全てやっているつもりだ。できるだけ早く(原子力規制庁による)審査を終えられるよう努力していきたい」と説明していました。



防波壁視察の様子