



宮崎守泰\*

# 安全・安心・防災に貢献する先進技術

Advanced Technologies for Safety, Security and Disaster Management

Moriyasu Miyazaki

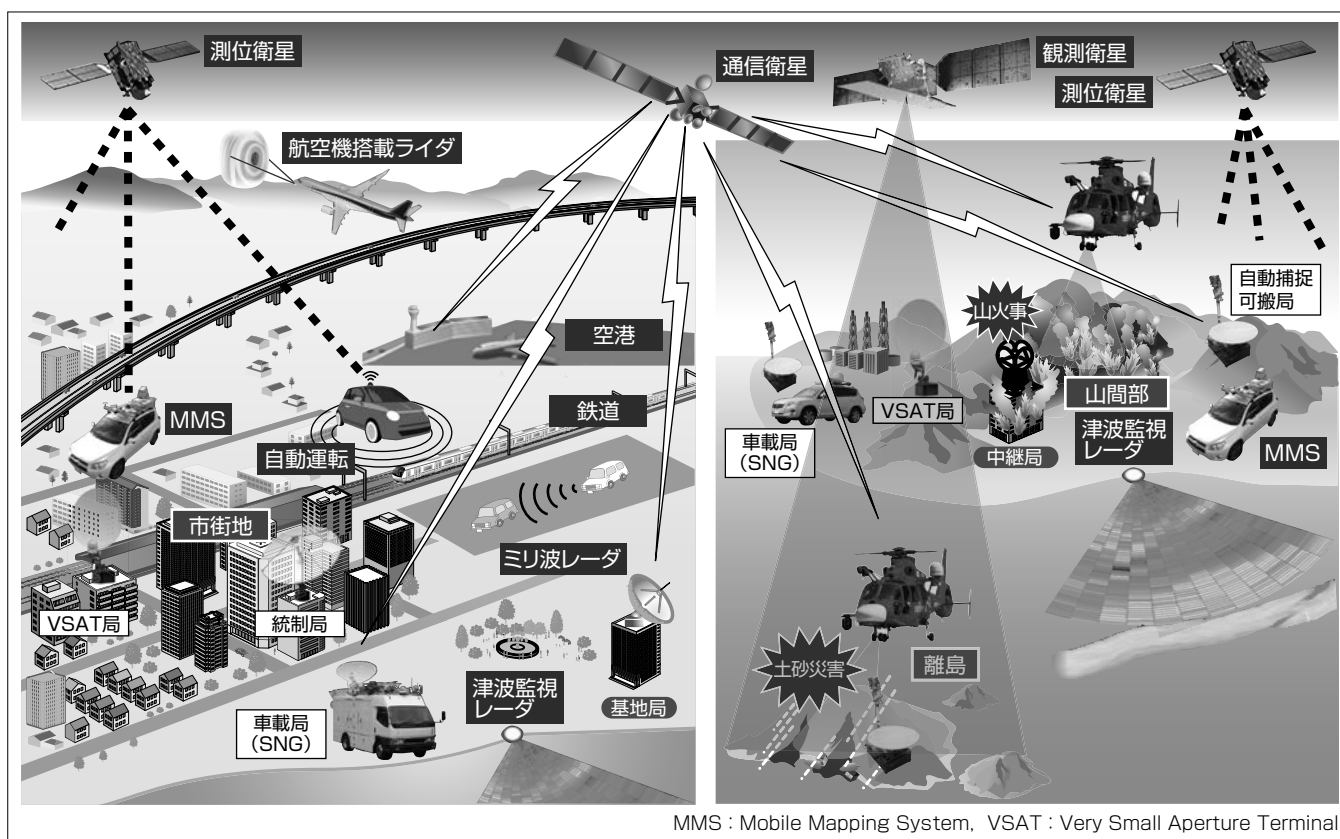
## 要旨

安全保障はもとより、近年の気象環境の急激な変化や地殻変動の活発化に伴う災害など日々の暮らしに潜む様々な危険に対して、安全・安心な暮らしを確保して防災対策を強化する試みが求められている。その達成に向けいち早く危険の予兆を捉えて早期に予防策を講じるには、実効的技術である観測技術、測位技術、及び通信技術がトータルとして広域性、常時性、即時性、正確性、及び適応性の5つの要素を備えることが有用である。

三菱電機は、合成開口レーダ(SAR: Synthesis Aperture Radar)や光学センサ(撮像, CO<sub>2</sub>等温暖化ガス, 気象)などの衛星搭載センサ技術、津波監視や風計測など地上のレーダ・ライダー技術、準天頂衛星を利用したセンチメータ

級測位技術や高精度三次元地図生成などの地理空間情報利活用技術、広域性と常時性に優れた通信衛星、加えて適応性(機動性)にも優れたヘリサットやSNG(Satellite News Gathering)といった衛星通信システムなど、先に述べた5つの要素に対応して安全・安心・防災に大きく貢献する実効的技術を網羅的に開発し、製品として世に送り出している。

これらの実効的技術を基に、安全・安心・防災への備えをサービスとして提供する上でネットワーク技術の進展も不可欠である。中でも、IoT(Internet of Things)時代を支えるべく、多種多様な情報が混在する通信要求に応えるシステムとして、新世代ネットワークが期待されている。



MMS: Mobile Mapping System, VSAT: Very Small Aperture Terminal

## 安全・安心・防災に貢献する実効的技術

安全: 安心な暮らしを確保し、防災に努めるにはいち早く危険の予兆を捉えて早期に予防策を講じることが重要である。そのための手段として、広域性と常時性に優れた衛星の利活用が極めて有用である。当社は、観測衛星、測位衛星、及び通信衛星を核に地上のレーダ、ライダー、及び様々な通信手段を連携させ、安全・安心・防災に貢献する実効的技術を備えた観測、測位、通信の各システムを網羅的に提供している。

### 1. ま え が き

自然環境の急激な変化や地殻変動の活発化が表面化する中、日々の暮らしに潜む様々な危険に対して、安全・安心な暮らしを確保して防災対策の強化を図るためには、常時観測して監視し、いち早く予兆を捉えて早期に予防策を講じることが求められる。そのために必要な実効的技術として、観測技術、測位技術、及び通信技術が挙げられる。さらに、これら実効的技術は相互に連携してシステム化され、サービス又はソリューションとして世の中に提供されることで初めて有効に機能する。したがって、そのためのシステム化技術としてのネットワーク技術も重要となる。

本稿では、先に述べた実効的技術に求められる必要条件として特徴的な5つの要素を挙げ、これら5要素を兼ね備える実効的技術としての衛星(観測、測位、通信)<sup>(1)</sup>、地上レーダ・ライダー<sup>(2)</sup>、及び衛星通信システム<sup>(3)</sup>などに関する当社の先進技術と製品、及び暮らしへの貢献例を示す。さらに、これらの実効的技術を基に安全・安心・防災への備えをサービスとして提供する上で不可欠な新世代ネットワーク<sup>(4)</sup>について、IoT, AI(Artificial Intelligence), ビッグデータ解析などの注目技術とも関連付けながら、その役割を考察する。

### 2. 安全・安心・防災を支える実効的技術

人が安全・防災対策を講じて安心を得るための行動プロセスを時系列的に捉え、必要な技術を抽出してみると、危険につながりかねない状況を正確に捉えるための“観測技術”、状況変化などの事象が生じた位置を把握するための“測位技術”、及び取得した情報を確実かつ最速に伝送して集結・分配するための“通信技術”が挙げられる。ここで、これら3つの技術を実効的技術と位置付ける。これらの実効的技術について、利用の側面から捉えた場合に備えるべき特徴要素を考察する。まずは、迫り来る危険情報を網羅的に正しく把握できる“広域性”と、災害時等でも地上インフラ等の影響を受けにくく常に機能を失わない“常時性”が、3つの実効的技術の全てに求められる。このほか“観測技術”には、観測の基本である“正確性”に加え、素早く様々な観測対象に対応できる“即時性”と“適応性”も求められる。“測位技術”にも、“即時性”と“正確性”が重要である。また“通信技術”には、リアルタイムに情報を伝える意味での“即時性”と、電波環境やインフラの状況に応じた回線確保を確実に実行する“適応性”も求められる。これらの実効的技術が備えるべき特徴の要

素とそれらを実現する当社技術の関係を俯瞰(ふかん)して図1に示す。まず、特徴的なのは、“広域性”と“常時性”の面で衛星利用が幅広く有用な点である。また、観測及び測位における“即時性”や“正確性”の確保には、レーダ・ライダーの適用が有用である。一方、測位における“即時性”と“正確性”の確保には、GNSS(Global Navigation Satellite Systems)の活用も有用である。さらに、観測における“正確性”と“適応性”、及び通信における“適応性”の確保には、使用する電波や光の周波数・波長の選択が極めて重要であり、衛星搭載用のSAR、光学センサ(撮像、CO<sub>2</sub>等温暖化ガス、気象)、及び地上のレーダ・ライダーではHF(High Frequency)帯から可視光までが、そして、衛星通信をはじめとする種々の無線通信でもVHF(Very High Frequency)帯からミリ波帯までの幅広い周波数・波長領域が適応的に選択・活用されている。

また、これらの実効的技術の能力を最大限に発揮させ、安全・安心・防災への貢献範囲を拡大するためには、一連の実効的技術が相互に連携して観測・監視システムを構築することはもとより、異種・多様なシステムが更なる連携を重ねることで機能・性能を向上させ、サービス拡大につなげる必要がある。安全・安心・防災へ貢献するシステムの拡大イメージを図2に示す。拡大は、3つのステップで進む。

技術	特徴	広域性	常時性	即時性	正確性	適応性
実効的技術	観測	衛星利用 SAR 光学(撮像, CO <sub>2</sub> , 気象)	衛星利用	レーダ・ライダー適用 津波監視 衝突防止 風・乱気流計測	レーダ・ライダー適用	周波数・波長選択 HF~ミリ波 赤外~可視 超音波
	測位	GNSS補強 準天頂(CLAS)	GNSS補強	MMS RTK測位	MMS RTK測位	L帯
	通信	無線 衛星通信	無線	VSAT ヘリサット	VSAT ヘリサット	VHF ~ミリ波
システム化技術		無線・有線融合, 新世代ネットワーク, 5G IoT, AI, ビッグデータ解析				

CLAS : Centimeter Level Augmentation Service, RTK : Real Time Kinematic

図1. 実効的技術が備えるべき特徴要素と当社技術の関係

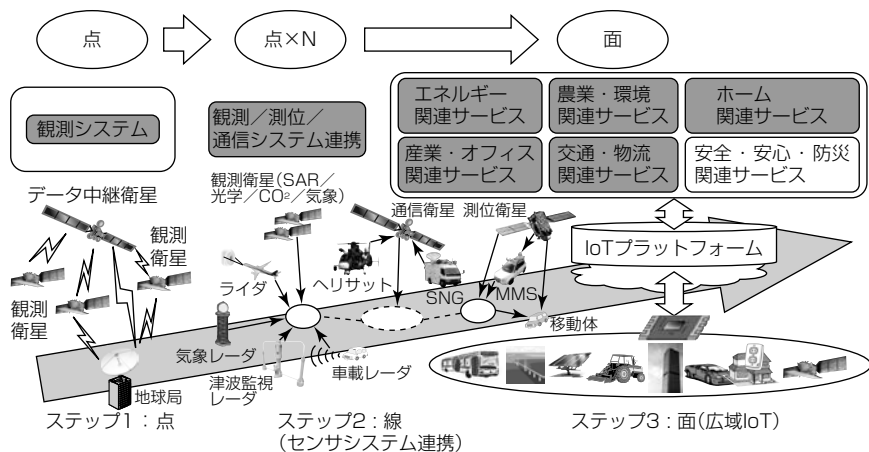


図2. 安全・安心・防災へ貢献するシステムの拡大イメージ

ステップ1では観測衛星など複数のセンサ群、ステップ2では観測と測位それぞれに資する種々のセンサ同士が通信ネットワークでつながりローカルなシステムを形成、ステップ3ではさらに異分野のシステムが相互にネットワークでつながり情報を共有し、正に広域IoTとして面的に広がるサービスを提供する。すなわち、点での観測から面的な広域観測へと発展し、観測・監視能力の飛躍的な向上が期待される。

一方、このようなシステムの拡大に伴い、行き交う情報量の爆発的な増加と、図2に示すような異分野サービス間でのネットワークの混在が予想される。これに対応するための、フレキシブルで賢い新世代ネットワーク網の検討がIoT・AI・ビッグデータ解析などの最新技術とも相まって進められており、将来における活用が不可欠である。

ここまで、安全・安心・防災に貢献する3つの実効的技術と、これらに求められる5つの要素を抽出するとともに、システム化技術としてのネットワーク技術の重要性について述べた。3章では、関連する当社の先進技術及び安全・安心・防災への貢献例を示す。

### 3. 当社の先進技術

#### 3.1 観測技術

##### 3.1.1 衛星搭載高性能センサ

地球観測への衛星利用は、先に述べたとおり“広域性”“常時性”、及び“適応性”など、安全・安心・防災への貢献に有用な多くの特徴要素を備えている。観測衛星には、地表や海洋の様子を撮像するSAR衛星や光学衛星、多波長のマイクロ波・ミリ波を利用して地球表面や大気中の様々な物質の分布・速度を観測する高性能マイクロ波放射系衛星、多波長の赤外光を利用して地球上のCO<sub>2</sub>などの分布や増減を観測する温室効果ガス観測衛星、さらには赤外光から可視光にわたる多くの波長を利用して大気中の水蒸気や雲の状態を観測する気象衛星などがある。衛星は地上から遠いことと電力に限りがあることから、観測の高精度化、高解像度化、及び低消費電力に資する技術開発に重点が置かれる。また、これまでに述べたとおり、衛星搭載センサが使用する電波や光の波長に応じて観測対象は多岐にわたっており、今後も観測対象の拡大が期待される。さらに、図2で示したような異種センサ間の連携が進めば、観測の“広域性”“常時性”、及び“正確性”などが飛躍的に向上し、関連サービスの機能・能力向上につながると期待される。

当社はこれまでに、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)及び気象庁をはじめとする関係機関の指導を受けて数多くの観測衛星の開発に携わってきた。

##### (1) SAR衛星

SARは昼夜や天候によらず観測可能という特長を持つことから、特に“常時性”に優れている。このため衛星搭載SARは、安全保障、海域(油流出、流氷監視等)や陸域(地

理情報、農業等)観測、温暖化対策に資する森林状況モニタリング、地殻変動や火山活動の定常監視、豪雨や地震等の災害状況把握等、幅広い分野で利用されている。特に地殻変動や植生状態把握に優れるL帯SARは日本が継続的に開発・発展させてきたセンサである。JAXAの下で当社も開発に携わった陸域観測技術衛星2号“だいち2号”に搭載されたL帯SAR“PALSAR-2(Phased Array-type L-band Synthetic Aperture Radar-2)”は、災害状況の把握、地球規模での環境問題への対応と経済・社会への貢献をミッションとしている。前号機“だいち”比で観測可能領域を3倍に拡大し、観測頻度を向上させるなどして、災害観測等の高度化を実現させたことで、新たに海洋状況把握等への利用が期待される。

##### (2) 光学衛星

日本での光学センサを搭載した地球観測衛星は年々進歩を遂げ、今では分解能1m以内で日本全域を高頻度に観測する技術を実現しつつある。このため、光学衛星は、防災・災害対策等を含む広義の安全保障、地図・地理空間情報の作成・更新等、様々なニーズに貢献している。また、センサの多波長化によって、植生・土壌分析等の定量分析機能も向上している。当社は、JAXAの下で大型光学センサに対して軸外し4枚鏡を採用し、コンパクト化を図りながら広域と長焦点を両立させ、広観測幅と高分解能を同時に満たす技術開発に成功している。また、当社独自の多彩な撮像制御技術や光学センサ製造技術を駆使し、高分解能化を図っている。さらに、画像データの地上への伝送処理でも、Ka帯適用による1.6Gbps世界最高速伝送系を提案している。

##### (3) 気象衛星“ひまわり”

気象衛星“ひまわり”は静止軌道から地球規模の広範囲にわたり、赤外光から可視光までの多数チャンネルの波長を利用して、地球の大気中にある水蒸気や雲の状態を高分解能・高頻度に観測することによって、広域的な雲の動きはもとより台風や局地的大雨等を的確に監視する上で重要な国家インフラとなっている。気象庁によって2015年7月から運用が開始された“ひまわり8号(図3)”は、波長数を5から16に増強するなど、分解能・観測チャンネル数・観測頻度で“ひまわり7号”より大きく性能向上を果たしている。当社は静止衛星標準バスDS2000に高度な姿勢制御技術やUHF(Ultra High Frequency)/Ku/Ka帯通信系

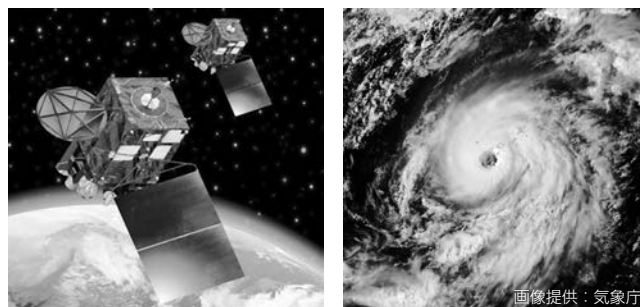


図3. ひまわり8号及び観測画像

を追加搭載し、気象観測に適する姿勢決定精度と低擾乱(じょうらん)性能、通信性能を実現している。

### 3. 1. 2 地上の高機能センサ

電磁波を用いるレーダは、SARと同様に昼夜を問わず観測が可能であり、HF帯からミリ波帯の適切な周波数帯を選択して用いることで航空機、船舶、車などの移動体をはじめ、津波、雨雲、河川水位など様々な目標の位置や速度を高精度に観測できるため、特に“常時性”、“正確性”及び“適応性”に優れており、安全・安心・防災を支える要のセンサと位置付けられる。一方、レーザ光を用いるライダーは、大気中のエアロゾルを捉えるほど細いビームを目標に照射でき、風力発電の高効率化に有用な風向・風速観測や航空機の安全航行に有用な乱気流観測などで注目を集めている。さらには、MMSにも搭載され、車の自動運転などに有用な高精度三次元地図の作成にも役立っている。このほか、超音波を用いてインフラ構造物の損傷状態を非破壊で検査する技術、複写機や紙幣判別分野等の画像読み取り・検査を行う光学密着イメージセンサなど、様々な高性能センサが日々生まれている。次に、安全・安心・防災に向けて当社が開発を進めるレーダ・ライダーの先進技術について述べる。

#### (1) 津波監視用海洋レーダ

大地震の発生によって津波が沿岸に到達する前に極力早くかつ高精度に到来を予測することは、避難行動に必要な時間を確保する上で極めて重要である。このような背景から、当社は、従来の海洋レーダを改良した津波監視用海洋レーダ(図4)の開発を行った。開発の成果として、海洋レーダによって計測される海表層流速場からリアルタイムでの津波挙動の推定を可能にした。この技術によって、津波の速度や到達予想時刻が、さらには、沿岸部の水深も加味することで津波の波高の推定も可能となった。

#### (2) 車載ミリ波レーダ

ミリ波レーダは天候に左右されにくく、視界の悪い夜間でも性能を落とさず、遠くまで検知できる特長がある。自動緊急ブレーキ等の自動車用安全運転支援システムや車間距離を一定に保つACC(アダプティブクルーズコントロール)

用としてミリ波レーダを応用したシステムの開発が世界的に盛んである。さらに、最近では自動運転技術の開発が盛んに行われるようになり、安全センサとしての役割が今後も期待される。安全運転支援等を目的として搭載される自動車用のミリ波レーダで重視される性能は、主に検知距離能力と角度精度である。法的に送信電力の上限が決められている条件下で高い検知距離能力を得るためには、アンテナを含めた送受信利得が高く雑音レベルが低いことが必要である。当社は、GaAs(ガリウムヒ素)による低位相雑音・高S/N(Signal to Noise)化、PLL(Phase Locked Loop)による変調補正の自動化、及び受信マルチチャネル化などの技術開発によって希望する性能を低コストで実現している。今後は、自動運転の実現に向けて車のトータルシステムの一部として求められる性能・機能が複雑化することが見込まれ、ミリ波レーダにもスマート化が求められる。

#### (3) 航空機搭載ライダー

旅客機の事故の約半数は乱気流等の気象現象に関連しており、乱気流事故の防止のためには乱気流を検知又は予測して対策を講ずることが有用である。航空機搭載ライダーは、航空機に搭載された気象レーダ等の従来機器では検知が困難な晴天乱気流に対し、レーザ光を用いた遠隔気流観測技術で検知してパイロットへ情報を提供するとともに、最終的には制御技術によって機体の動揺を低減することで航空機の安全運航を可能とする。当社は既に、地上設置用の長距離型ドップラーライダーを開発し製品化した。この製品化に当たり、長距離の観測のために必要な小型高出力光増幅器の実用化にも成功している。ここで得られた知見を基に、JAXAの指導の下、エアロゾルの希薄な高高度でも遠方の乱気流を検知するための開発を進めている。

### 3. 2 準天頂衛星高精度測位技術及び利活用技術

2018年度から準天頂衛星システム(QZSS: Quasi-Zenith Satellite System)の実用サービスが開始される。QZSSの主な特長に、日本全国で水平誤差6cm以下、垂直誤差12cm以下の高精度測位を可能とするセンチメートル級測位補強サービス(CLAS)があり、IT農業・情報化施工、自動車の自動運転・安全運転支援等の新たな分野の利活用が期待されている。自動車分野では、CLASと高精度三次元ダイナミックマップと併用することで、自動運転システムの性能向上や適用範囲拡大が期待される。また、IT農業分野へのCLAS適用は、農機運転の自動化による省力化や精密土壌マップ・肥料散布地図の活用による収穫量拡大への貢献が期待できる。

なお、三次元ダイナミックマップの開発には、3. 1. 2項で述べたMMSが重要な役割を果たす。MMSは、車両にGPS(Global Positioning System)などのGNSS受信機IMU(Inertial Measurement Unit: 慣性航法装置)、レーザスキャナ、カメラ等各種センサを搭載し、走行しながら周辺の三次元空間情報(形状、色、及び座標)から成る“点群”を精密か

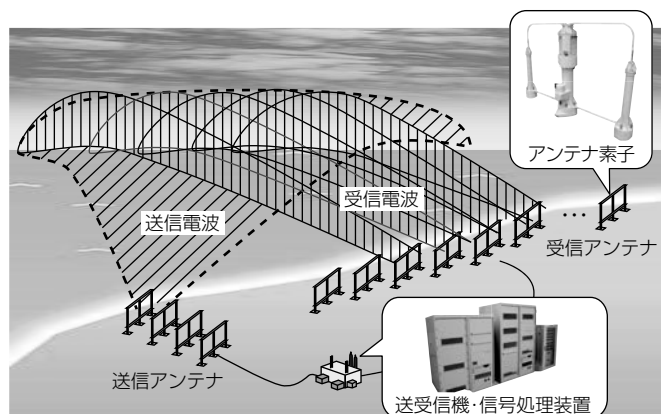


図4. 津波監視用海洋レーダの構成例

つ効率的に収集する。当社は、MMSに対して高い技術力を持ち、“点群”の絶対位置精度10cm以下を実現している。

### 3.3 衛星通信技術

#### 3.3.1 通信衛星

通信衛星は、固定通信・移動体通信等の通信インフラを平常時に提供するとともに、災害時・緊急時には地上通信インフラに替わって対象地域に通信サービスを提供できるなど“広域性”“常時性”、及び“適応性”に優れ、安全・安心を得る上で欠かせない。ただし、これらの長を最大限に発揮させるためには、柔軟に周波数や周波数帯域幅を変更できる衛星搭載中継器の適応性、干渉・妨害に負けない信頼性、及び衛星管制の保全性などの確保が重要となる。このためには、アンテナのアダプティブ化、搭載中継器のデジタル化、及び信号の暗号化や拡散符号化などが求められる。当社は、2002年打上げのデータ中継技術試験衛星(当時、NASDA)以来、通信放送衛星6機の実績を基に、今後必要な先進技術の開発を着実に進めていく。

#### 3.3.2 ヘリサット

災害・危機管理の分野では、迅速かつ的確に情報を収集・整理し、情報通信基盤を通じて住民や関係機関に伝達することによって、被害や事故の件数の軽減、質的な改善が見込まれる。従来、被災地での空撮映像の伝送には地上で整備した中継局を経由して伝送を行う“ヘリコプターテレビ伝送システム(ヘリテレ)”が用いられていた。しかしながら、東日本大震災や熊本地震等の巨大地震や津波では地上の中継局が被災し、情報収集に時間を要する課題が発生している。このような状況を改善するため、当社では、他社に先駆けてヘリコプターから直接通信衛星を介して情報を伝送するシステム(ヘリサットシステム)を開発し、市場投入を果たした。ヘリサットシステムは通信衛星を介して直接通信を行うため、運用地域、飛行高度に依存せずリアルタイムで情報収集が可能である。ヘリコプターから直接衛星通信を行うシステムの有用性は運用事例からも明らかであり、現在、このシステムは地震や大雨による河川の氾濫、火山の噴火等、広域災害時に迅速な情報収集手段として活躍している。

### 4. フレキシブルな通信ネットワーク

安全・安心・防災への対応をより確実なものへ高めるためにフレキシブルで賢い通信ネットワークの構築が不可欠なことは、先に述べたとおりである。今後、IoTの適用が本格化して異分野サービスの大量情報が混在して行き交うことが予想される中で、図2のステップ3に示すような面的広がりを持つ観測システムを機能させるためには、多種多様な通信が混在しても必要な通信品質を確保できる高度な通信ネットワークが求められ、この要求を満たすための

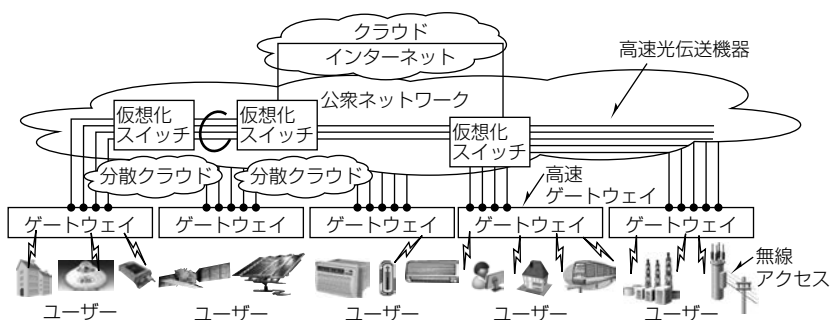


図5. 新世代通信ネットワークの構成イメージ

新世代ネットワークの検討が進んでいる。図5はその構成イメージであり、多接続、高信頼、低遅延、小容量、大容量といった多種多様な要求のデータ配信が混在することになる。現状、電話回線以外はインターネット経由となるため品質や低遅延を保証できない。IoT普及期には、伝送容量を保ちつつ電話と同じような品質保証と更なる低遅延の仕組みを公衆ネットワークの中に持つ必要がある。そのために、光回線やゲートウェイの高速化、ネットワーク仮想化、分散クラウド化、第5世代移動通信システム(5G)などの無線と有線の統合など、革新が見込まれる新世代ネットワークへの期待が高まる。次世代ネットワークがインフラ網として構築され、IoT、AI、ビッグデータ解析などの最新技術と相まっていくことで、状況に応じてフレキシブルでかつ高品質なネットワーク網を実現できると考える。

## 5. むすび

安全・安心な暮らしを確保して防災対策の強化を図るために必要な技術を俯瞰し、実効的技術として“観測技術”“測位技術”“通信技術”を挙げ、これらの技術に求められる5つの特徴要素を抽出した上で、実効的技術の実現例である当社の先進技術と製品について述べた。また、これらの実効的技術を連携させてより高度なソリューションを提供する上で不可欠な、新世代通信ネットワークへの期待を示した。

### 参考文献

- (1) 小山 浩, ほか: 宇宙利用拡大と情報通信社会を支える先端技術, 三菱電機技報, 89, No.3, 152~156 (2015)
- (2) 長谷川広樹, ほか: 宇宙利用の新たな動向, 三菱電機技報, 90, No.2, 98~102 (2016)
- (3) 尾崎 裕, ほか: 災害・危機管理・報道に威力を発揮するヘリコプター及び小型車載用衛星通信システム, 三菱電機技報, 84, No.8, 466~470 (2010)
- (4) 中尾彰宏, ほか: ネットワーク仮想化サービス基盤の進展と今後の展望 [ I ] —進化形ネットワーク仮想化と統合管理技術—, 電子情報通信学会誌, 99, No.12, 1184~1190 (2016)