

マイクロ波放射計(AMSR)シリーズの開発と利用 —世界に冠たるマイクロ波放射計の実績と先進性—

野口龍宏* 増山正行*
石川貴章*
中川 潤*

Development and Usage of Advanced Microwave Scanning Radiometer(AMSR) Series—Achievements and Advanced Technology of World-famous Microwave Radiometer—
Tatsuhiro Noguchi, Takaaki Ishikawa, Jun Nakagawa, Masayuki Masuyama

要 旨

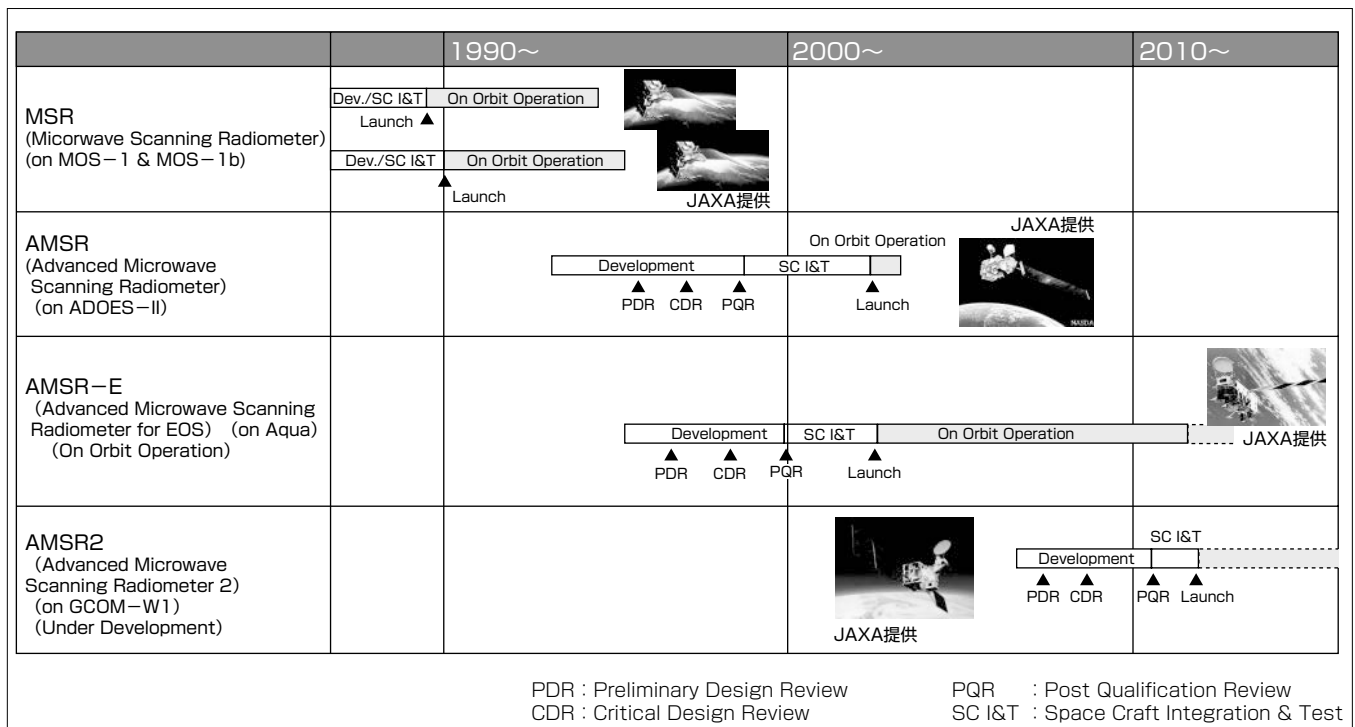
三菱電機は1980年代初頭より、地表及び大気から自然放射される微弱電波を多周波数で受信し、水蒸気量、降水量、海面温度等の物理量を観測するための電波センサであるマイクロ波放射計の開発に携わってきた。

マイクロ波放射計の初号機は、1987年に打ち上げられたMOS-1(もも1号)搭載のマイクロ波放射計(Microwave Scanning Radiometer: MSR)で、1995年にそのミッションを完遂した。MSRは、開口径約0.5mのアンテナで、23GHz帯と31GHz帯(各々片偏波)の2チャンネルを持つセンサであった。MSRは1990年打ち上げのMOS-1b(もも1b号)にも搭載された。次に開発されたのが、2002年に打ち上げられたADEOS-II(みどり2号)搭載の高性能マイクロ波放射計(AMSR)、及び、同じく2002年に打ち上げられた米航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration: NASA)の衛星Aqua搭載の改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)である。AMSRは、約2mのアンテナで、6GHz帯から89GHz帯(各々直交2偏波)の

16チャンネルを持っていた。AMSR-Eは、約1.6mの展開アンテナで、6GHz帯から89GHz帯の14チャンネルを持つセンサであり、現在も軌道上で運用されている。

その後継機である高性能マイクロ波放射計2(AMSR2)は、約2mの展開アンテナで、6GHz帯から89GHz帯の16チャンネルを持つセンサである。AMSR2は、2010年9月(一部機器は2011年3月)に(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)に納入され、現在、衛星(GCOM-W1)に搭載されて、2011年度の打ち上げに向けて衛星システムのプロトフライト試験(PFT)を実施中である。

前号機のAMSR-Eは、ミッション期間3年を完了した現在も継続して観測データを取得しているが、10年目の軌道上運用に入り、寿命末期を迎えている。貴重な観測の継続性を望む米国、中国、日本を始めとする世界50か国以上、2,000機関以上のユーザーから、AMSR2の打ち上げが期待されている。



マイクロ波放射計シリーズ

1992年に打ち上げられた2式の高性能マイクロ波放射計(AMSR, AMSR-E)の後継機として、高性能マイクロ波放射計2(AMSR2)が開発され、現在2011年度打ち上げ予定の第一期水循環変動観測衛星(GCOM-W1)に搭載され、打ち上げに向けて衛星システムPFTを実施中である。また、その後継機として、AMSR2に高周波チャンネル(150~183GHz帯)を追加した次期マイクロ波放射計の開発が計画されている。

1. ま え が き

当社におけるマイクロ波放射計の開発は、1987年に打ち上げられた海洋観測衛星(MOS-1)搭載用マイクロ波放射計(MSR)に始まり、第二世代の環境観測技術衛星(ADEOS-II)搭載の高性能マイクロ波放射計(AMSR)、及びNASAの衛星Aqua搭載の改良型マイクロ波放射計(AMSR-E)へとそのミッションを拡張して開発が継続されている。現在は、第一期水循環変動観測衛星(GCOM-W1)搭載用の高性能マイクロ波放射計2(AMSR2)の開発を完了し、第三世代の高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)の開発に移行する段階である。

本稿では、当社が開発してきたマイクロ波放射計シリーズの開発意義、役割等を述べるとともに、現在までの利用状況、及び今後の技術動向等について述べる。

2. マイクロ波放射計の開発実績

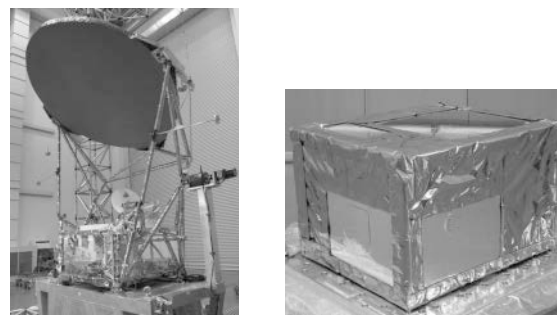
表1に当社が開発してきた高性能マイクロ波放射計(AMSRシリーズ)の一覧を示す。マイクロ波放射計は、水循環に関連する全球的な水蒸気量、降水量、海面水温等を観測する受動型の電波センサであり、特にAMSR-Eは現在も世界最高性能のマイクロ波放射計として地球規模の水循環のモニタリングとモデリングに全世界で有効利用されている。

表2にAMSRシリーズの主要諸元を示す。MSRでは2周波数/2チャンネルしかなかった観測チャンネルをAMSR、AMSR-Eでは、各々7周波数/16チャンネル、6周波数/

14チャンネルに拡張し、かつアンテナ開口径の大型化(50cm級から2m級へ)によって、瞬時視野を狭くして、観測性能(空間分解能)を向上させてきた。また、受信機系についても、周波数の拡張とともにMSRのディック方式からAMSR以降はトータルパワー方式の放射計とし、軌道上で大型のアンテナを40rpmで回転させることによって全地球規模の高性能観測を実現した。

3. AMSR2の開発

図1にAMSR2の外観を、図2にシステム構成図を、表3に主要性能諸元⁽¹⁾を示す。AMSR、AMSR-Eの後継機となるAMSR2では、短期開発のため基本的には前号機の設計を踏襲しており、アンテナ部(ANT)、校正部(CAL)、受信部(RX)等のコンポーネントを搭載し、40rpmで回転するための回転駆動部(ADM)及び軌道上バランス調整



(a) センサユニット(SU) (b) 制御ユニット(CU)

図1. AMSR2の外観

表1. 当社が開発したAMSRシリーズの一覧

搭載衛星	略号	愛称	打ち上げ	センサ名	略号
海洋観測衛星1号	MOS-1	もも1号	1987年2月	マイクロ波放射計	MSR
海洋観測衛星1b号	MOS-1b	もも1b号	1990年2月	マイクロ波放射計	MSR
地球観測衛星AQUA	EOS-PM1	AQUA	2002年5月	改良型マイクロ波放射計	AMSR-E
環境観測技術衛星	ADEOS-II	みどり2号	2002年12月	高性能マイクロ波放射計	AMSR
第一期水循環変動観測衛星	GCOM-W1	未定	2011年度(予定)	高性能マイクロ波放射計2	AMSR2

表2. AMSRシリーズの主要諸元

センサ名	MSR				AMSR				AMSR-E				AMSR2				
衛星	MOS-1(1987年打ち上げ)				ADEOS-II(2002年打ち上げ)				Aqua(2002年打ち上げ)				GCOM-W1(開発中, 2011年度打ち上げ予定)				
アンテナ	0.5mアンテナ(非展開)				2mアンテナ(非展開)				1.6mアンテナ(展開式)				2mアンテナ(展開式)				
主要諸元	周波数(GHz)	帯域幅(MHz)	偏波	チャンネル数	周波数(GHz)	帯域幅(MHz)	偏波	チャンネル数	周波数(GHz)	帯域幅(MHz)	偏波	チャンネル数	周波数(GHz)	帯域幅(MHz)	偏波	チャンネル数	
	-	-	-	-	6.975	350	VH	2	6.925	350	VH	2	6.925	7.300	350	VH	4
	-	-	-	-	10.65	100	VH	2	10.65	100	VH	2	10.65	100	VH	2	
	-	-	-	-	18.7	200	VH	2	18.7	200	VH	2	18.7	200	VH	2	
	23.8	400	V	1	23.8	400	VH	2	23.8	400	VH	2	23.8	400	VH	2	
	31.4	500	H	1	36.5	1,000	VH	2	36.5	1,000	VH	2	36.5	1,000	VH	2	
	-	-	-	-	50.3	160	V	2	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	89-A	3,000	VH	4	89-A	3,000	VH	4	89-A	3,000	VH	4		
				89-B				89-B				89-B					
	2周波数帯, 2ch			7周波数帯, 16ch				6周波数帯, 4ch				6周波数帯, 16ch					

V: Vertical, H: Horizontal

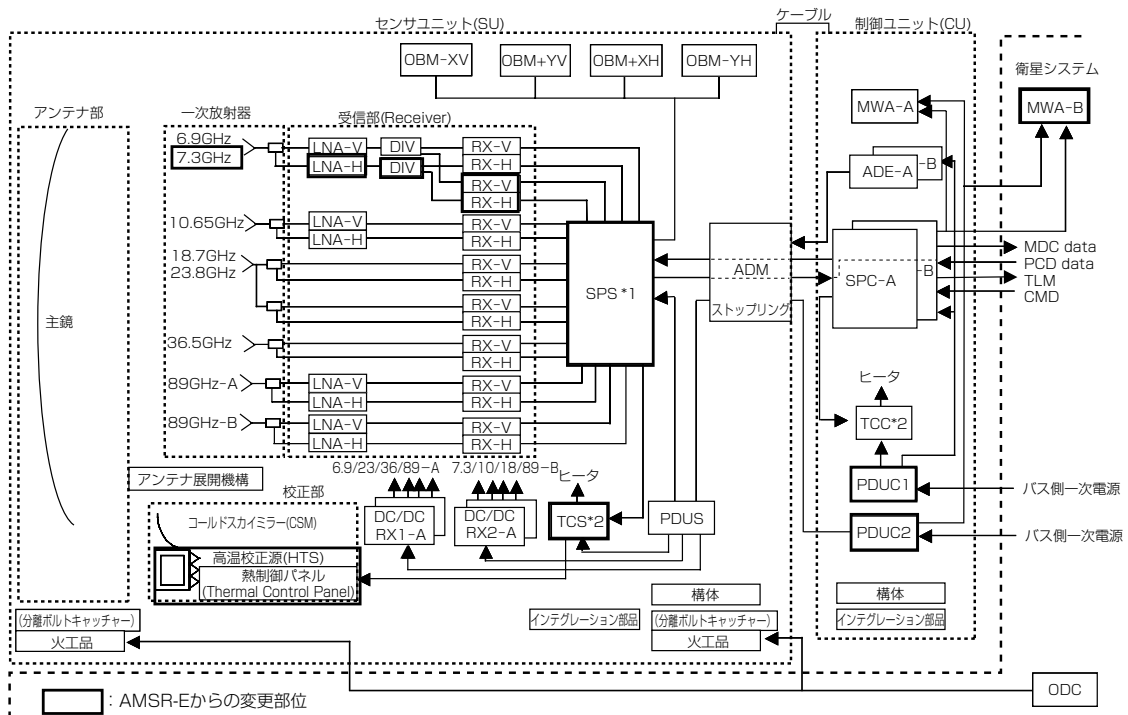


図 2. AMSR2のシステム系統図

表 3. AMSR2の主要性能諸元

項目	諸元							
	6.925	7.3	10.65	18.7	23.8	36.5	89 (A)	89 (B)
観測周波数 (GHz)	6.925	7.3	10.65	18.7	23.8	36.5	89 (A)	89 (B)
帯域幅 (MHz)	350	350	100	200	400	1,000	3,000	3,000
偏波	H/V (水平/垂直)							
主な観測対象	海面温度		海上風	降水量 (海域)	水蒸気量	海水, 雲水量, 積雪	降水量 (陸域)	
温度分解能 (K)	0.34	0.43	0.7	0.7	0.6	0.7	1.2	1.2
ダイナミックレンジ (K)	2.7 ~ 340							
ビーム幅 (°, 公称)	1.8	1.8	1.2	0.65	0.75	0.35	0.15	0.15
フットプリント (Az×El) (km)	35×61	35×61	24×41	13×22	15×26	7×12	3×5	3×5
サンプリング間隔 (km) (衛星進行方向)	10						5	
サンプリング間隔 (km) (走査方向)	10						5	
メインビーム効率 (%)	>90	>90	>90	>90	>90	>90	>90	>90
オフナディア角 (°, 公称)	47.5 (地表入射角 約55° 相当)							
走査角 (°, 公称)	-61 ~ +58			±61 (観測幅 約1,450km 相当)				
走査周期 (sec)	1.5 (± 1%)							

のための質量特性調整機構 (OBM) を持つセンサユニット (SU), 及び信号処理部 (SPC), 電力分配部 (PDUC) 等のコンポーネントとSUの回転によるモーメントをキャンセルするためのモーメントホイール (MWA) を搭載する制御ユニット (CU) から構成される。

これに加え, AMSR-Eの軌道上運用実績などを考慮して, 次の改善を行っている。まず, AMSR-EでAquaへの搭載性を考慮して縮小したアンテナ開口径を2m級に拡大して空間分解能を向上させた。これに伴い, 大型アンテナをコンパクトに収納するための展開機構部の再設計を行い, GCOM-W1への搭載性も確保した。図3にAMSR2 PFTにおける展開試験状況を

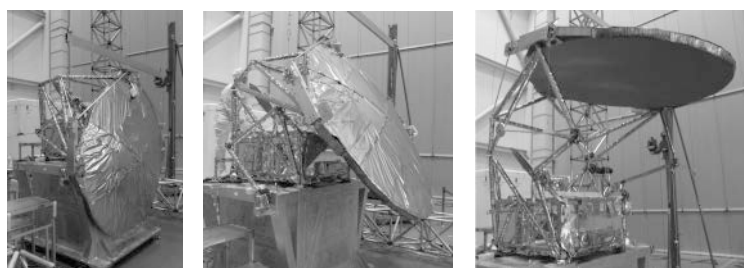


図 3. サブシステム試験 (展開試験) 中の AMSR2

を示す。AMSR-Eの軌道上観測実績から6.9GHz帯における電波干渉に対応するため7.3GHz受信機を追加搭載して対処している。またAMSR-Eの軌道上運用で, 軌道条件又は季節変動によって最大数10°Cの温度分布が発生すること

が確認された高温校正源(HTS)に対し、温度制御方式を変更⁽²⁾してHTSの電波吸収体表面の温度分布を2.5℃p-p以下に抑え、校正精度の改善を図った。さらに信頼度向上のため、MWA B系(MWA-B)の追加、及びセンサユニット信号処理部(SPS)の部分冗長化を図ってシングルポイントを極力減らすとともに、AMSR-Eの開発段階で不具合の多かったOBM用モータの国産化と駆動機構構成の見直しによって、信頼性の高い設計とした。

なお、AMSR2は、現在開発を完了して衛星(GCOM-W1)に搭載済みで、2011年度の打ち上げに向けての準備中⁽³⁾である。図4に衛星システムでの試験状況を示す。

4. AMSRシリーズの利用

2002年5月に打ち上げられた米国NASA衛星Aqua搭載用AMSR-Eは3年のミッション期間(設計寿命5年)をは



図4. 衛星システム試験中のAMSR2(JAXA提供)

表4. AMSR-Eのデータ利用状況(Top10)

#	VolMB	Country	Users	VolMB	Files
1		United States	791	58,401,418	2,386,806
2		Japan	86	22,122,061	606,729
3		China	321	8,103,436	943,216
4		Germany	42	6,008,693	187,948
5		France	52	4,322,264	224,079
6		Italy	42	2,218,918	29,739
7		Australia	33	1,865,826	103,633
8		Canada	90	1,716,182	135,384
9		Netherlands	21	1,218,840	25,793
10		United Kingdom	51	791,928	26,587

※ 2009年度の利用状況(NSSTC集計): 利用国数 50ヶ国以上、利用機関数: 1,798

表5. 観測周波数と観測対象

観測対象	周波数					
	7GHz帯	10GHz帯	18GHz帯	23GHz帯	36GHz帯	89GHz帯
積算水蒸気量			○	◎	○	
積算雲水量			○	○	◎	
降水量		○	◎	○	○	◎
海上風速	○	○		○	◎	
海面水温	◎	○		○	○	
海水密接度	○		◎	○	◎	◎
積雪水量		○	◎	○	◎	○
土壌水分	◎	◎	○	○	○	○

◎: 最重要周波数

るかに超えて10年目の運用を継続中であり、表4に示すとおり、世界50か国以上、2,000機関以上(2010年5月の推定データによる)に利用されている。表5に観測周波数と観測対象の関係を示す。主要国のデータ利用状況としては、気象予報(特に米国では、ハリケーンの規模、進路等)、エルニーニョ監視など地球規模での気候変動監視、穀物の収穫予想、漁業解析(まぐろ、かつお等)、及び米国における軍の作成行動に必要な情報の収集等に利用されている。また近年中国での利用数が増加しており、気象予報のほか、穀物の収穫、災害発生に関連して利用しているものと推定される。

AMSR-Eの観測実績⁽⁴⁾を図5及び図6に示す。海面水温の全球マップ(2010年11月1日~5日及び2011年4月1日~5日)に関しては、四角い黒枠で囲われたエルニーニョ監視海域で、2010年11月のラニャーニャ現象の最盛期と2011年4月には顕著な低温偏差がなくなったことをとらえている。また、北極圏の海水分布の状況(2008年9月23日及び2011年5月5日)に関しては、2008年9月で地球温暖化の影響を受けて北極海の海水が観測史上2番目の小さくなった事象をとらえている。

なお、AMSR2を搭載したGCOM-W1は、AMSR-Eの後継センサとして、米国の地球観測衛星隊列(米国衛星Aqua, Aura, CALIPSO, CloudSat, Glory, OCO及び、仏衛星PARASOLから構成される)であるA-train⁽⁵⁾に投入することが予定されており、これらの衛星群が互いに数分

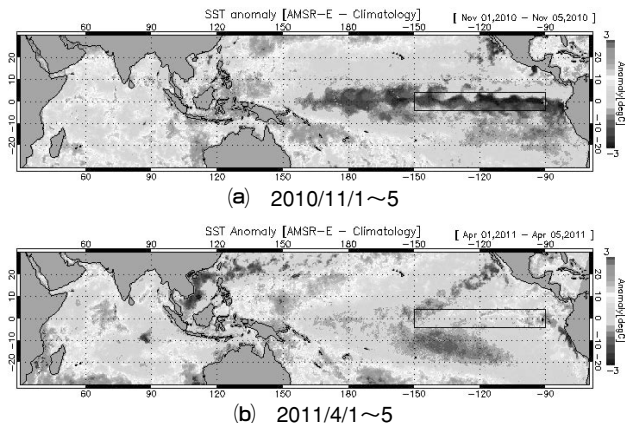


図5. 海面水温の全球マップ(JAXA提供)

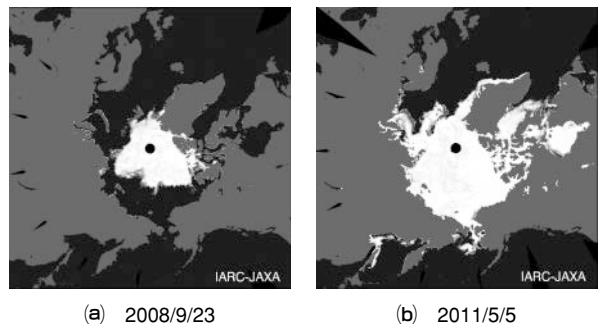


図6. 北極圏の海水分布(JAXA提供)

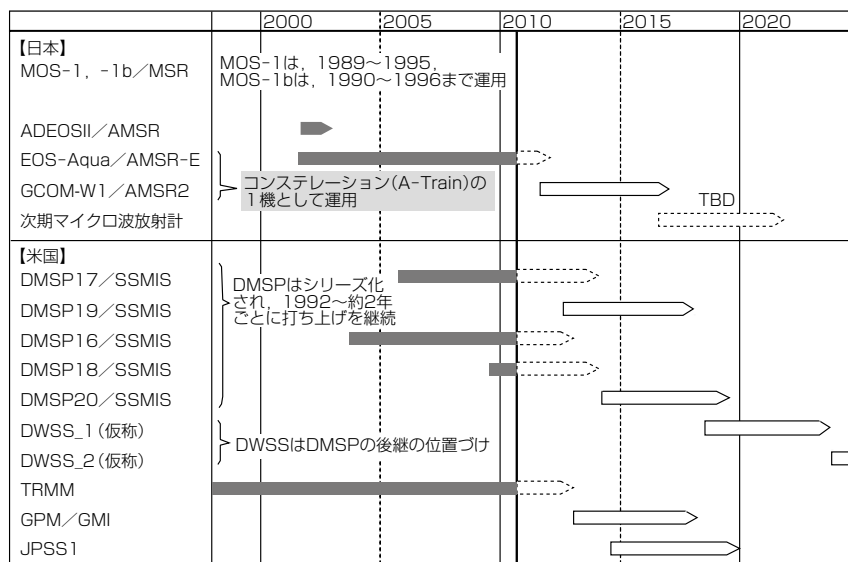


図7. 日米のマイクロ波放射計の将来計画

ほどの時間差で同じ軌道を周回することによって、大気/水等の観測精度を向上させることを目的として国際間協調を行っていく計画である。

5. 今後の技術動向

図7に日米におけるマイクロ波放射計の将来計画を示す。日本では、AMSR2の後継機としてGCOM-W2搭載AMSR3、及びGCOM-W3搭載AMSR4が計画されている。また、米国でも、公的機関(NASA, NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration: 米国立海洋大気圏局))のJPSSシリーズ衛星、及び空軍(USAF)のDWSSシリーズ衛星等が計画されている。

次期マイクロ波放射計に対するユーザー要望としては、気象予報精度向上のため高周波観測チャンネル(150~183GHz帯)の追加があげられ、高周波受信機系の開発が課題となる。また、89GHz帯のローカル発振器(W-band Local Oscillator Assembly: WLOA)用のGunnダイオードなど、入手不可となる部品については代替品の選定、又は新規開発が必要になる。

NASA/NOAAのJPSS衛星については、現状マイクロ波放射計は搭載せず、高周波のサウンダ(ATMS)の搭載を前提としている模様である。

一方、USAFのDWSS衛星搭載用のマイクロ波放射計に関しては、上記の高周波観測チャンネルに加えて、航空、海上の作戦行動(燃料消費など)やハリケーンなどの暴風風による被害予測でも不可欠な風速、風向観測のためのチャンネル(10GHz, 18GHzにおける±45度偏波, 円偏波(R, L))の追加が期待されている模様である。

当社としては、AMSRシリーズの実績、強みを活か(い)かし、先に述べた米国周回気象衛星に対して、次期

AMSRの受注を目指した活動に取り組んでいきたい。また、先に述べたユーザーの要望にこたえるため、AMSRシリーズの継承技術を十分に活用するとともに、高周波受信機系の開発、機器の小型・軽量化、及び高密度インテグレーション等の新規技術開発を進めていきたい。

6. むすび

我が国における衛星搭載用マイクロ波放射計は、国産化技術の育成段階から、国際協力の枠組みの中で社会貢献する実利用の段階まで進化してきた。

今後もマイクロ波放射計のシリーズ化を図り、ユーザーのニーズにこたえるよう高機能化及び性能向上を図っていく必要がある。様々なニーズにこたえることによって、宇宙からの観測データが社会の安心・安全と、生活の質の向上に資することで、社会に貢献することを目指している。

参考文献

- (1) 野口龍宏, ほか: AMSR2フライトモデルの開発, 第53回宇宙科学技術連合講演会, 2C05 (2009)
- (2) Ishikawa, T., et al.: Development of High Temperature Noise Source(HTS) for Advanced Microwave Scanning Radiometer 2(AMSR2), IGARSS (2011)
- (3) 人工衛星プロジェクト GCOM-W1
<http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom-w1/index.html>
- (4) 地球観測研究センター EORC
<http://www.eorc.jaxa.jp/index.php>
- (5) A-TRAIN SATELLITE CONSTELLATION
<http://science.nasa.gov/earth-science/a-train-satellite-constellation/>