

平成31年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代光通信インフラのための高周波特性評価用の110 GHz帯

高周波コネクタ測定基準器の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人千葉県産業振興センター

目次

第1章 研究開発の概要.....	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	1
1-1-1 従来の問題点.....	2
1-1-2 当初の技術目標値.....	3
1-2 研究体制	3
1-2-1 管理・事業実施体制	3
1-2-2 研究員氏名.....	4
1-3 研究成果	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論.....	5
2-1 基準器実現に向けた設計・製造の課題解決に向けた開発.....	5
2-1-1 3次元電磁界解析ソフトによる SMPM(S) コネクタと、基準器エレメントとコネクタの最適設計と試作品開発（電気エレメントの開発）	6
2-1-2 SMPM(S) コネクタの新規構造の開発と材料の最適化.....	7
2-1-3 シミュレーション結果と試作品の差分評価.....	8
2-2 基準器の性能評価およびデバイス評価方法の課題解決に向けた開発.....	9
2-2-1 SMPM(S) コネクタの耐久性評価（インピーダンス偏差が 1%未満となる挿抜治具の開発）	9
2-2-2 SMPM(S) 基準器の性能評価とデバイス評価方法の開発	10
2-2-3 SMPM(S) 基準器によるデバイス評価の実証	12
最終章 全体総括.....	12

第1章 研究開発の概要

高周波デバイスの電気測定において、測定器に付属する測定ケーブルや測定治具等の校正は、測定精度の保証を行う為に必ず必要になる技術であるが、昨今小型化・高速化されている通信用電気・光デバイスに搭載されている SMPM コネクタ、SMPS コネクタを正確に校正できる基準器が世の中にない事から、(株)テクノプローブ【法認定企業、PL】、(国研)産業技術総合研究所【SL】、(株)ワカ製作所が、共同研究を行い、SMPM コネクタ、SMPS コネクタの正確なコネクタ校正を行う為の基準器の開発を行った。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

光通信の基幹ネットワークに用いられる電気・光信号変換装置（以下『光通信デバイス』と云う）が、2020年以降には100 GHzに達すると計画されており、電気信号制御部の性能を実証する為には、光通信デバイスの精度の高い計測が必要で、精度の高い計測を行う為には高精度基準器が必要となる。しかし、光通信デバイスに搭載されている、SMPM コネクタ・SMPS コネクタの校正用の基準器は世の中に無く、精度の高い計測を行う事が出来ない。現在は測定精度低下分を見込み光通信デバイス側をオーバースペックで作る事により出荷仕様を満足しているが、これは光通信デバイスの高コスト化、歩留率の低下の原因であり、光基幹ネットワーク敷設が高コスト化し、普及の足かせとなる。その解決策として、高性能基準器を実現することを目標とする。

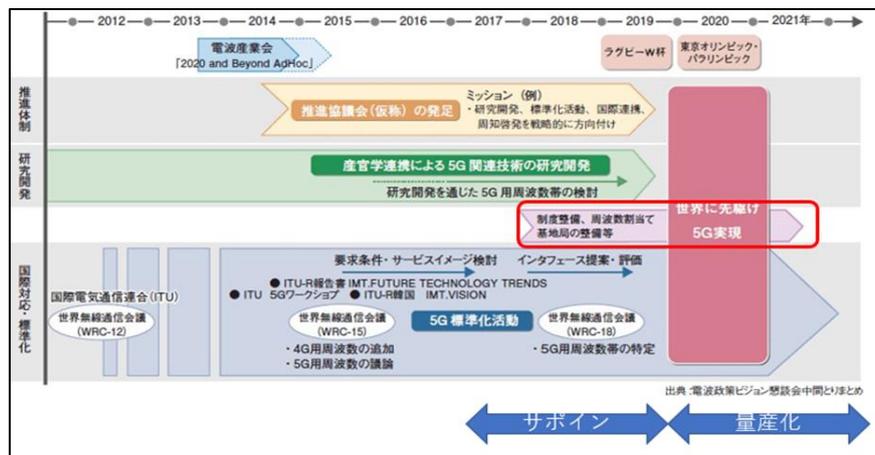


図1. ロードマップ(出展：総務省 電波政策ビジョン懇談会中間とりまとめ)

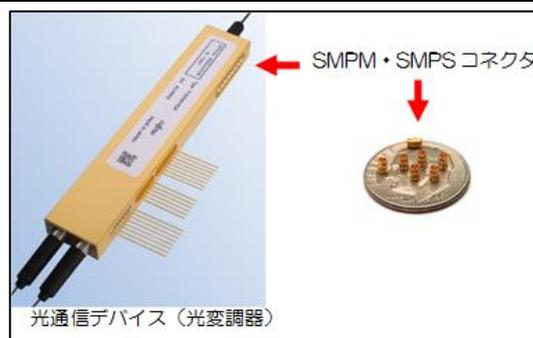


図2. 光通信デバイス(出展：富士通オプティカルコンポーネンツ)と

SMPM・SMPS コネクタ(出展：Microwave 101)

1-1-1 従来の問題点

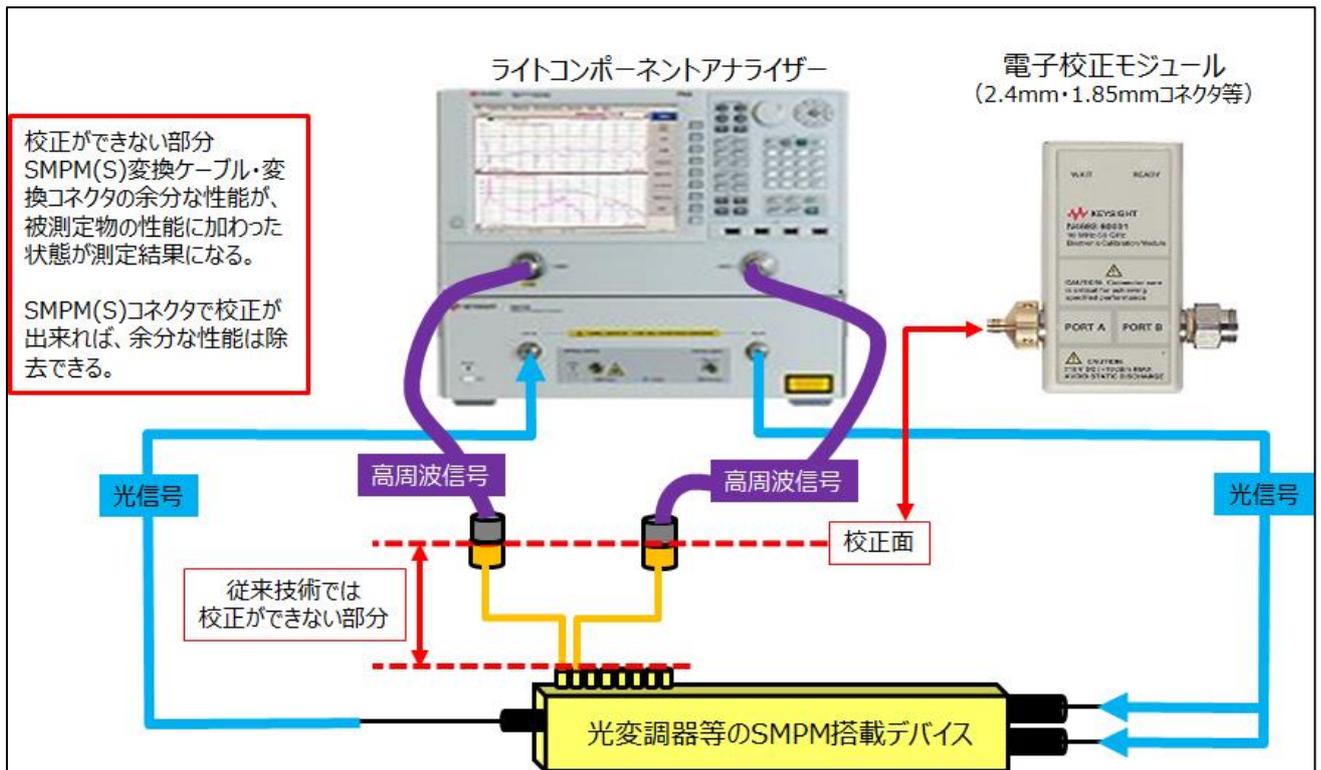


図3. 従来技術の測定セットアップ及び機器校正面

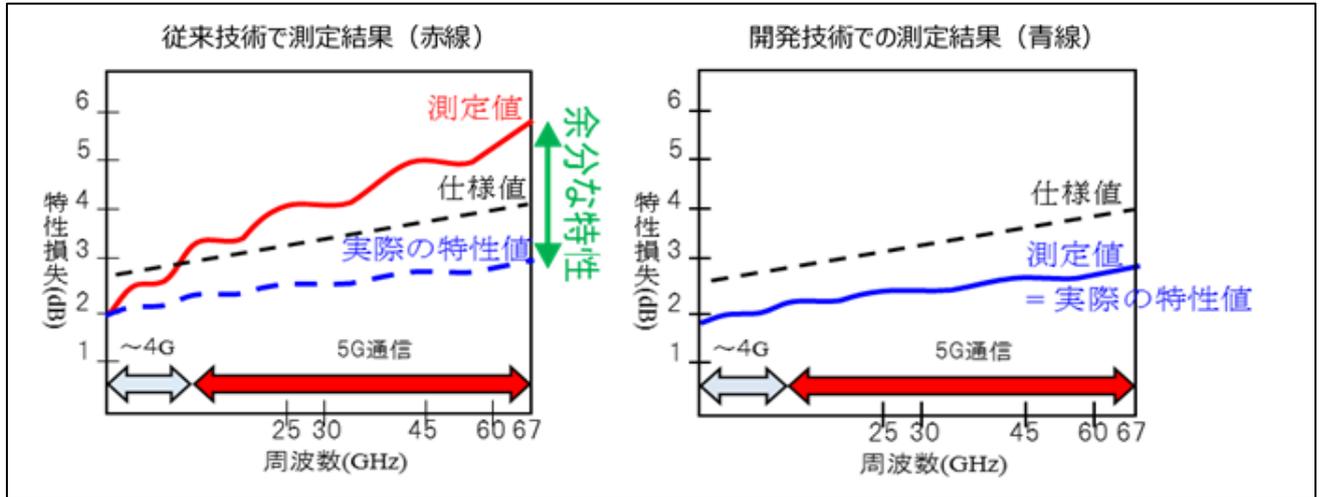


図4. 従来技術・開発品技術の測定結果比較

従来の測定では、SMPM、SMPS コネクタに対応する標準器が無い為、図3に示す「従来技術では校正できない部分」があり、測定結果に校正出来ない部分が含まれる為、本来被測定物の性能を示す図4 (右側グラフ) グラフに示す、青線の結果が得られず、図4 (左側グラフ) 赤線の測定結果になる。

「従来技術では校正できない部分」のマイナスの性能をカバーする為 (図4に示す仕様値を満足する為) に、被測定物はオーバースペックで作る必要がある上、正確な測定が行えない為、製品の歩留まりを悪くしている。

1-1-2 当初の技術目標値

- 基準基板をコネクタに実装した状態でインピーダンスの偏差が設計値と比して5%以下

実施成果

- 基準基板をコネクタに実装した状態でインピーダンスの偏差が設計値と比して2%以下を実証
以下、T11 インピーダンス測定結果グラフ（図7 エLEMENTインピーダンス）に実測値を示す。
- 挿抜ジグにより、接続の繰り返し性について80%以上の改善を実証する。

1-2 研究体制

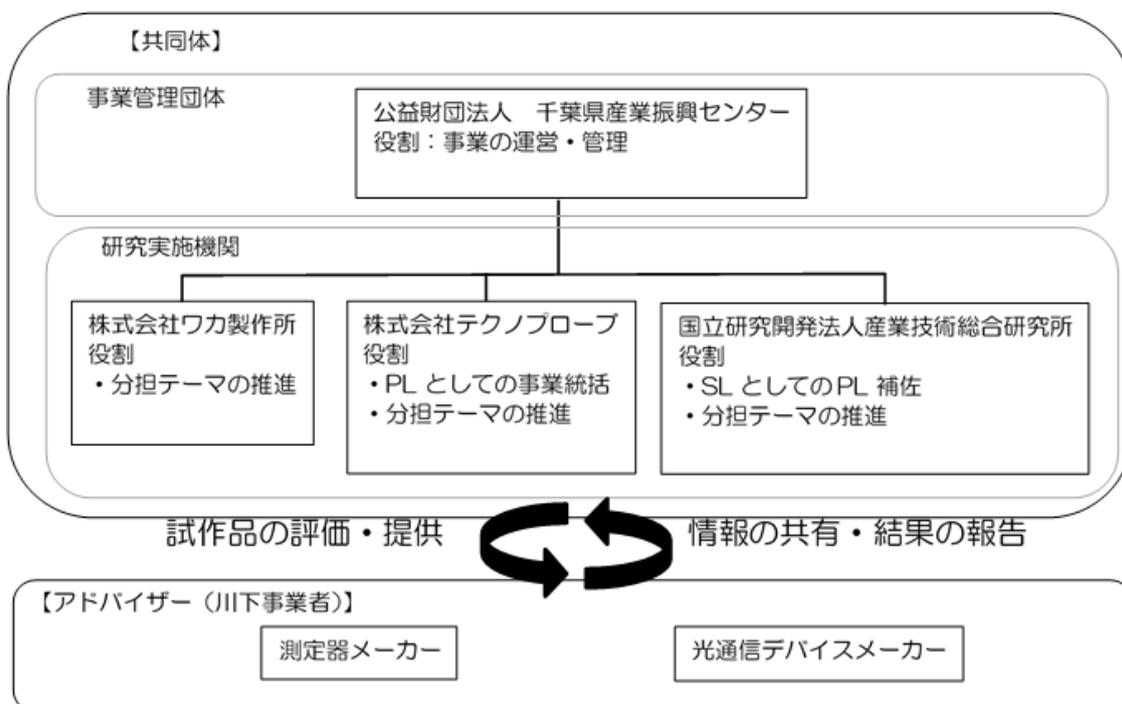


図5. 研究体制

1-2-1 管理・事業実施体制

スケジュール遅延なく、技術的課題や諸問題を円滑に解決する為に、共同体内では以下のスキームを実施し、計画通りに研究開発を実施した。研究開発実施企業内でも課題解決の相談や保有設備の共用を行い、研究開発費の削減を図った。

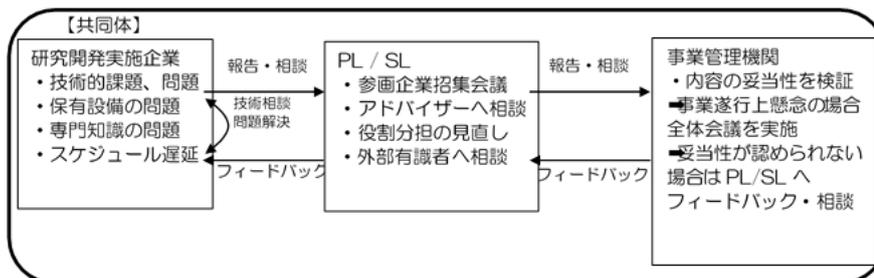


図6. 管理・事業実施体制

1-2-2 研究員氏名

区分	所属	役割	氏名	
【共同体】	(公財)千葉県産業振興センター	事業の運営・管理	齋藤宏志	
			島岡太郎	
			田畑靖司	
			佐藤友子	
	(株)テクノプロープ 【法認定企業】	事業の統括		大井雅俊 (PL)
		分割テーマの統括	【1-1】 【2-3】	
		分割テーマの統括	【1-1】 【2-3】	志村純子
		分割テーマの推進	【1-1】	庄司智一
			【2-3】	柳貴士
		(国研)産業技術総合研究所 (産総研)	事業の統括	
	分割テーマの統括		【1-3】 【2-2】	
	分割テーマの推進		【1-3】	岸川諒子
			【2-2】	坂巻亮
				加藤悠人
(株)ワカ製作所	分割テーマの統括	【1-2】 【2-1】	若林佳之助	
	分割テーマの推進		福田裕実	
		【1-2】	岩上隆一	
		【2-1】	岡山浩	
【アドバイザー】	光通信機メーカー	市場動向の情報共有、開発進捗 状況の確認	===	
	測定器メーカー		===	

1-3 研究成果

テーマ	研究実施機関	研究成果
インピーダンス設計値(シミュレーション値)からのバラツキ(偏差)が±5%以内の基準器開発	(株)テクノプローブ	インピーダンス設計値から±5%以内の電気エレメント開発に成功
	(株)ワカ製作所	インピーダンス設計値から±5%以内のコネクタ開発に成功
	(国研)産総研	設計値と試作品の差分解析を実施し、試作品の性能を実証する事に成功
精度が±1%以内となるSMPM(S)基準器を用いた評価技術を開発	(株)テクノプローブ	SMPSデバイスを実測、基準器が有効に使える事を実証した。
	(株)ワカ製作所	300回の耐久試験を実施し。コネクタ破損が無き事を確認した上で、精度が±1%以内である事の確認をする事に成功
	(国研)産総研	校正精度の確かさを実証する事に成功

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社テクノプローブ 大井雅俊

Tel: 047-441-8881 Fax: 047-441-8880

Email: toshi-ohi@technoprobe.co.jp

第2章 本論

2-1 基準器実現に向けた設計・製造の課題解決に向けた開発

一般的に光通信デバイスの高周波・高速測定を行う為には、ネットワークアナライザ（電気測定器）やライトコンポーネントアナライザ（電気+光測定器）を用いる。

高周波・高速測定を行う測定器で正確な測定を行う際には、測定器に付属するケーブルの校正を行う必要があり、一般的な高周波コネクタ、例えば、SMAコネクタ（DC～18GHz）、3.5mmコネクタ（DC～26.5GHz）、2.92mmコネクタ（DC～40GHz）、2.4mmコネクタ（DC～50GHz）、1.85mmコネクタ（DC～50GHz）、1mmコネクタ（DC～110GHz）の国際標準化された、スレッド付きコネクタ（ネジを締め・緩め挿抜するコネクタ）の基準器は、測定器メーカーやコネクタメーカーにより製品化され、市場に出回っている。しかし、昨今の光通信デバイスに搭載されているSMPMやSMPSコネクタ等の国際標準化されていないプッシュオン式のコネクタ用の基準器は世の中で製品化されていない為、測定器に取り付けたケーブルの校正が出来ず（図3参照）、正確なデバイス測定が出来ない為（図4参照）、本開発において研究実施機関毎にサブテーマを振り分けSMPMやSMPSコネクタの基準器を開発した。

2-1-1 3次元電磁界解析ソフトによるSMPM(S)コネクタと、基準器エレメントとコネクタの最適設計と試作品開発（電気エレメントの開発）

サブテーマ：【1-1】 担当：(株)テクノプローブ

3次元電磁界解析 ⇨ 試作 のトライアルアンドエラーを行った。

電気エレメントの設計・製作では、電気エレメントのパターンの特性インピーダンスを 50Ωにし最適かつ、安定的に作れる方法を確立した。

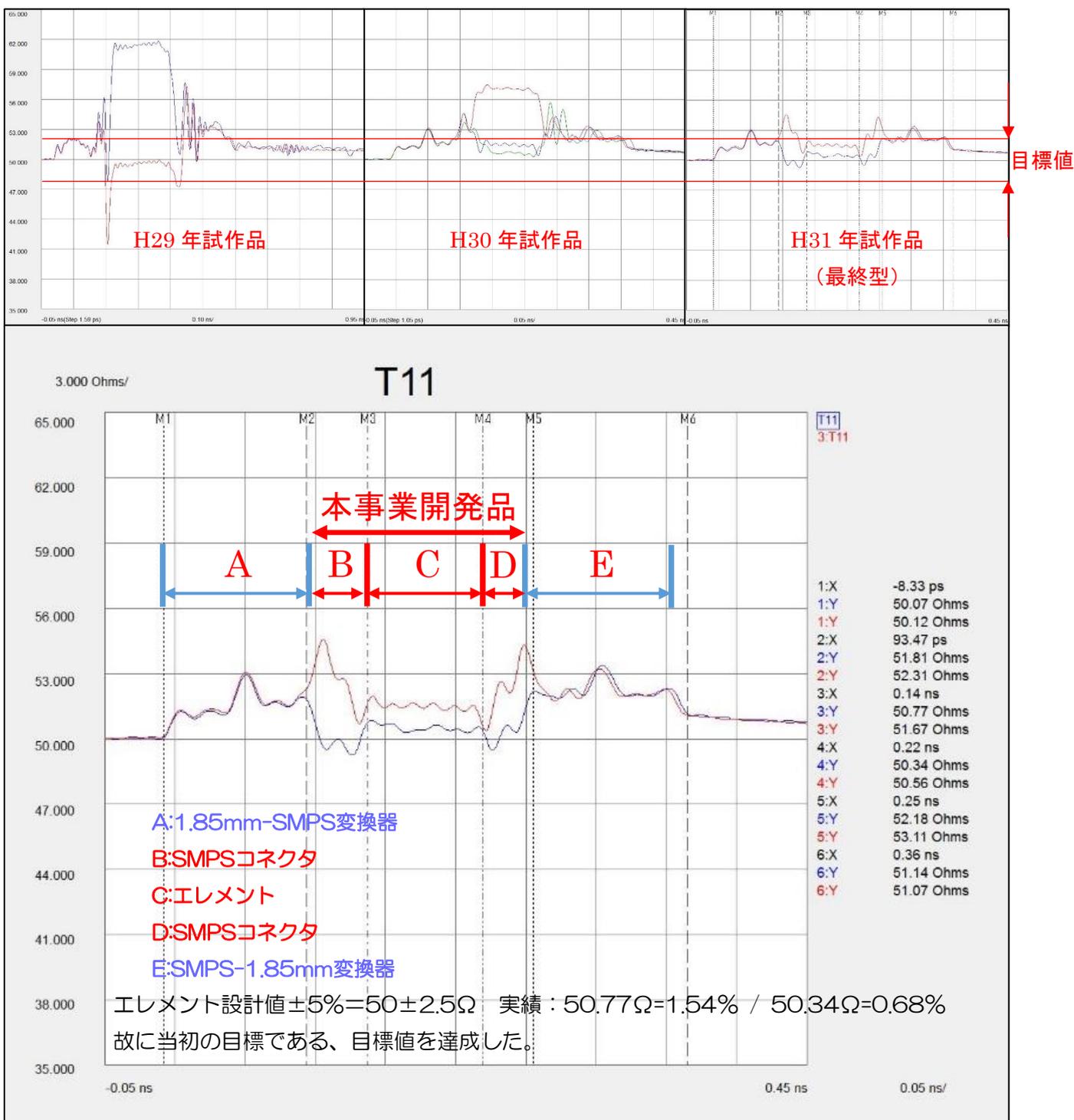


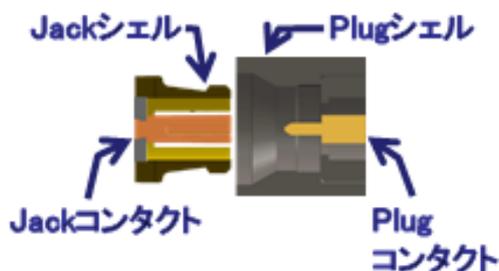
図7. エレメントインピーダンス

2-1-2 SMPM(S) コネクタの新規構造の開発と材料の最適化

サブテーマ：【1-2】

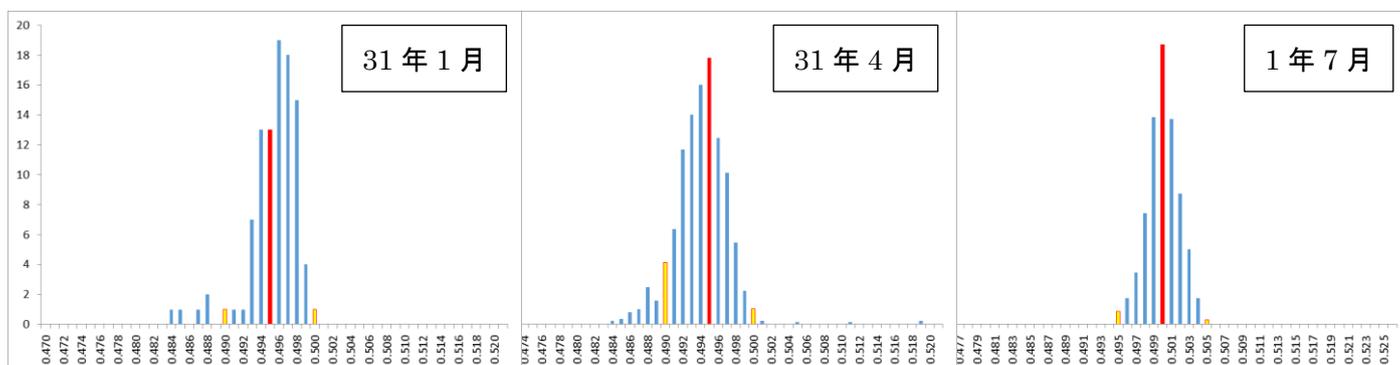
担当：(株)ワカ製作所

3次元電磁界解析 ⇨ 試作 のトライアルアンドエラーを行った。
インピーダンスのバラツキを±5%以内とする。



タイプ	P/J	部品	管理特性	設計値 (mm)	Z ₀ (Ω)	試作平均 (mm)	試作σ (mm)	Z ₀ 平均 (Ω)	Z ₀ σ (Ω)
アダプタ	Plug	シェル	内径	1.170	50.38	1.167	0.0006	50.69	0.057
		コンタクト	外径	0.505					
	Jack	シェル	内径	1.170	50.38	1.168	0.0034		
		コンタクト	外径	0.505					

コネクタピンの安定的な性能を実現する為に、加工寸法の安定化を図った。



1. 指示寸法と加工寸法の中央値は一致。
2. 偏差はさらに縮小。
3. インピーダンス偏差±1%も視野に。

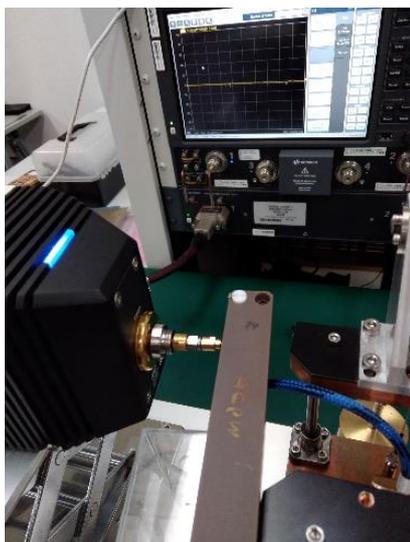
	31年1月	31年4月	1年7月
平均値 (mm)	0.495	0.494	0.500
標準偏差 (σ)	0.00282	0.00273	0.00183
CP	0.590	0.610	0.912
CPK	0.543	0.486	0.902

2-1-3 シミュレーション結果と試作品の差分評価

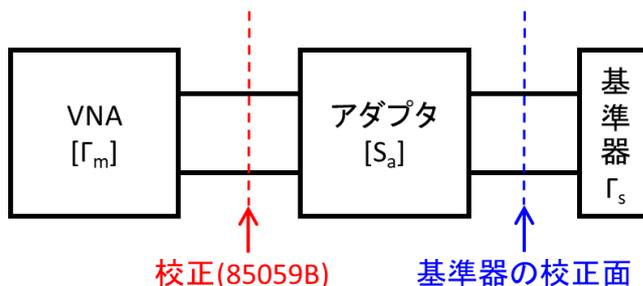
サブテーマ：【1-3】

担当：(国研)産総研

サブテーマ【1-1】【1-2】で行ったシミュレーション結果と実測値の差分評価を行い理想的な設計値を導く事に成功した。



測定システム



測定される反射係数 $\Gamma_m = S_{11a} + \frac{S_{21a}S_{12a}\Gamma_s}{1 - S_{22a}\Gamma_s}$

アダプタのSパラメータ (シミュレーション結果) $[S_a] = \begin{bmatrix} S_{11a} & S_{12a} \\ S_{21a} & S_{22a} \end{bmatrix}$

基準器の反射係数 $\Gamma_s = \text{解析手法} \frac{\Gamma_m - S_{11a}}{S_{21a}S_{12a} + S_{22a}(\Gamma_m - S_{11a})}$

Element	Length (mm)	
Open	3.66	±0.005
Flush Short	0.00	---
Short-1	3.66	±0.005
Short-2	4.45	±0.005
Short-3	設計値は非公表	±0.005
Short-4	6.28	±0.005
Short-5	9.97	±0.005
Load	6.28	±0.005
Thru	12.56	±0.005

基準器の設計変更（最終版）

2-2 基準器の性能評価およびデバイス評価方法の課題解決に向けた開発

SMPM・SMPS コネクタの基本理念は、一度付けたら外さないコネクタである為、従来のスレッド式のコネクタとは異なり、プッシュオン式で小型化されているが、挿抜のガイドの役割になるスレッドがない為、耐久性が悪く、性能の安定性が悪い。

実際の光変調器試験では、これらのコネクタを何度も使うが、耐久は 100 回程度と良くない。

故に、コネクタの交換コストが高い上、安定的にデバイス进行评估する事が困難である事から、本事業では、再現性良く挿抜を行える治具を開発し、コネクタの高耐久化を図るとともに、測定の安定化及び高精度に測定を実施できる方法の確率を行う必要がある。

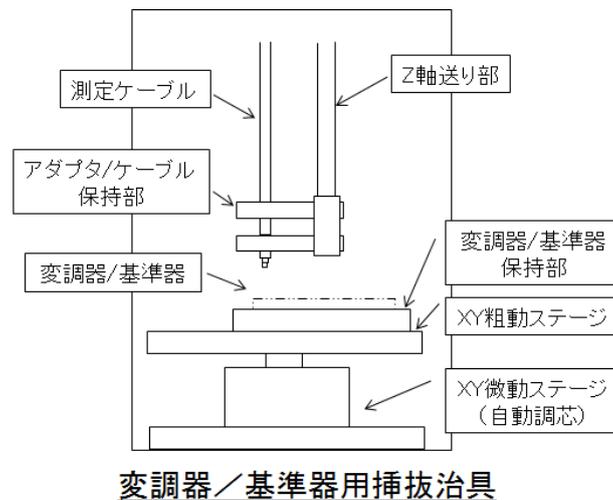
2-2-1 SMPM(S) コネクタの耐久性評価（インピーダンス偏差が 1%未満となる挿抜治具の開発）

サブテーマ：【2-1】

担当：(株)ワカ製作所

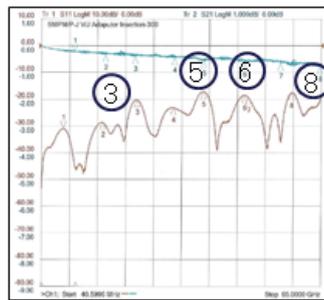
下記の様な挿抜治具を製作し、SMPM・SMPS コネクタの挿抜試験を実施した。（目標値 300 回）挿抜初回、300 回にて高周波測定を実施し、インピーダンス偏差 1%以内になる事を確認した。

挿抜治具イメージ





初回



300回

測定点	回数	S11(dB)	Z ₀ (Ω)	目標値
③	1	-24.9	50.3	<52.5
	300	-20.1	51.0	<53.0
⑤	1	-18.1	51.6	<52.5
	300	-17.1	52.0	<53.0
⑥	1	-17.0	52.0	<52.5
	300	-18.5	51.4	<53.0
⑧	1	-24.0	50.4	<52.5
	300	-17.6	51.8	<53.0

S11とインピーダンスの変化

SMPPM コネクタのインピーダンスは、300回の挿抜後、初期値（50±2.5Ω）から1%未満の変化だった。よって、本事業で開発した挿抜治具は目標を満足する。

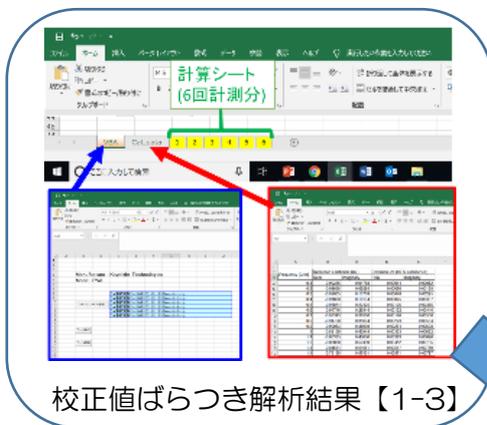
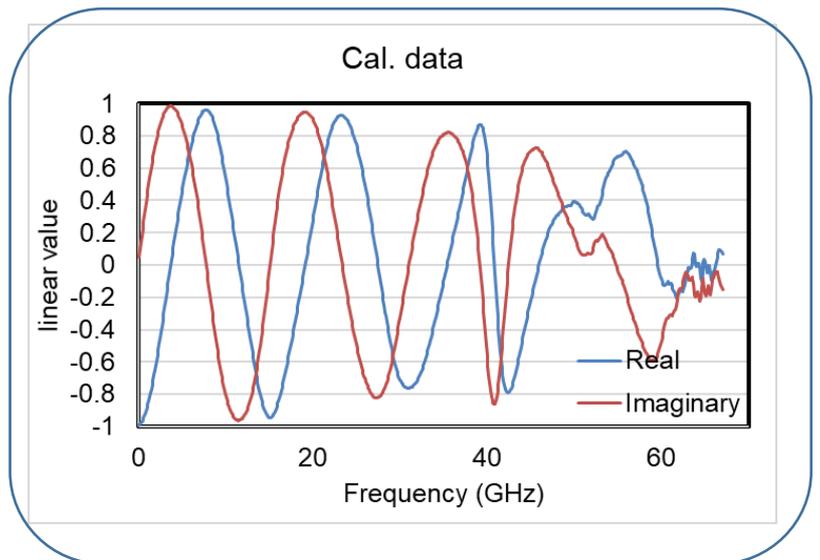
また、SMPPM コネクタが、適当な治具を使用することで、300回の挿抜に耐えうることも確認できた。

2-2-2 SMPPM(S) 基準器の性能評価とデバイス評価方法の開発

サブテーマ：【2-2】

担当：(国研)産総研

試作品の基準器の測定を繰り返し実施し、校正データを取得する。
繰り返し取得する事により
校正値のバラツキ解析を実施
また、同じ周波数帯の1mmコネクタ基準器の不確かさ（バラツキ）の測定を行う事により、SMPPM・SMPSコネクタ基準器の不確かさを証明した。

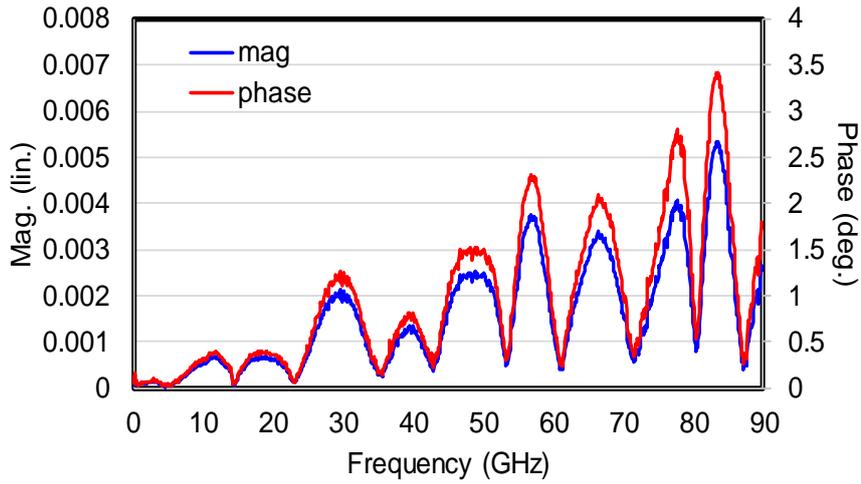


校正

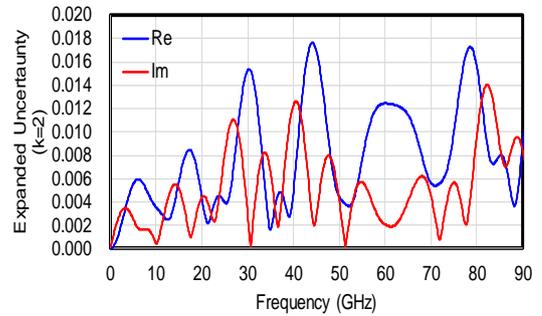
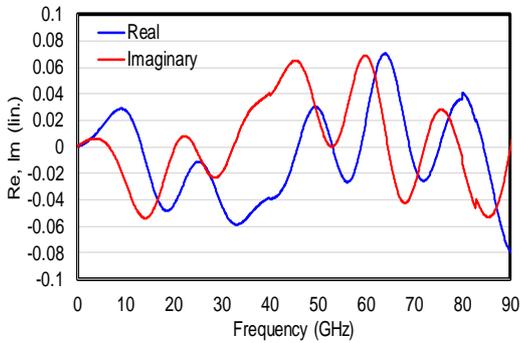
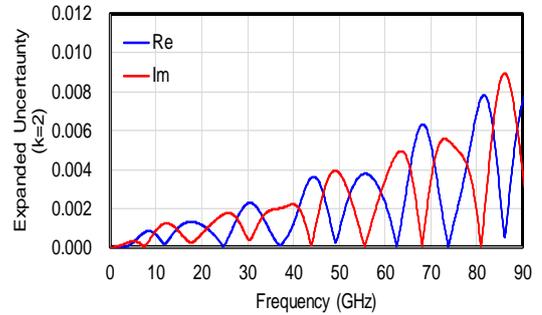
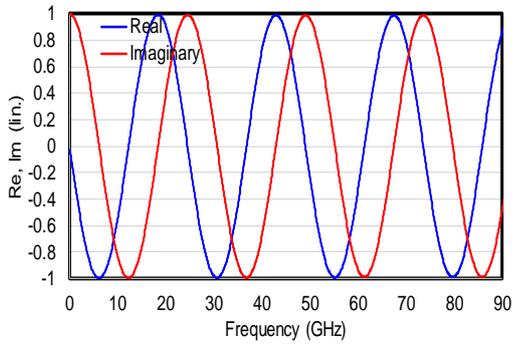
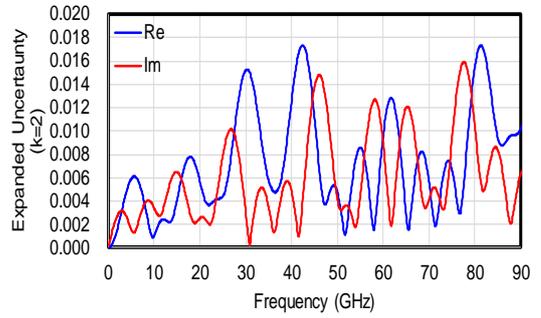
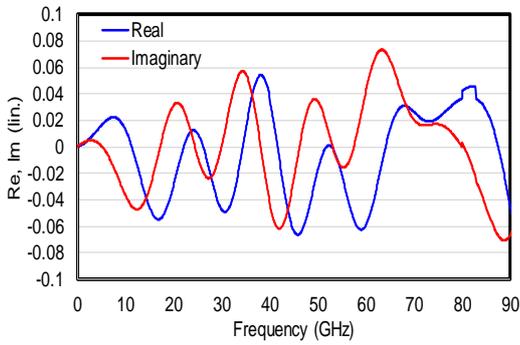


1.0 mm 同軸校正の不確かさ解析結果

SMPS 基準器の不確かさ



SMPS コネクタの接続再現性, 2s.



SMPS-1.0 mm 同軸アダプタのSパラメータと不確かさ

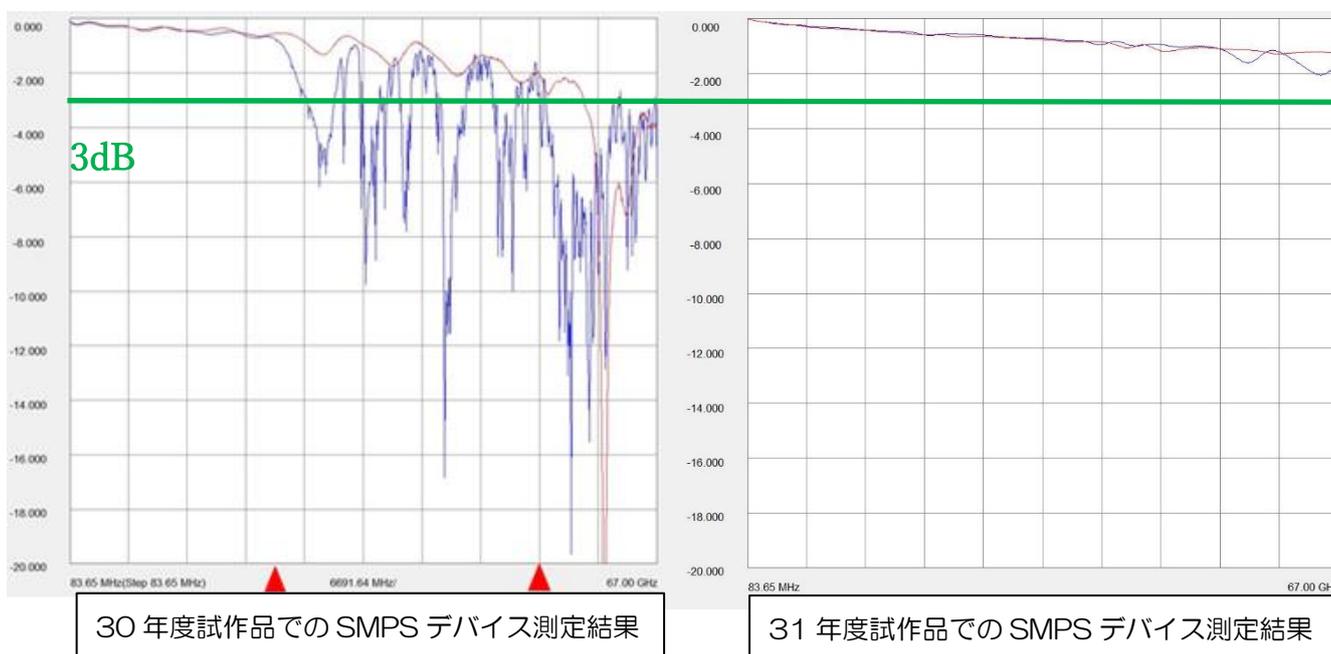
2-2-3 SMPM(S) 基準器によるデバイス評価の実証

サブテーマ：【2-3】

担当：(株)テクノプローブ

試作品の SMPM・SMPS 基準器 【1-1】【1-2】、校正手法【1-3】【2-2】の手法を用いて、【2-1】の挿抜治具を使い、川下産業で使われる SMPM・SMPS 搭載デバイスの実測を行った。

H30 年度のグラフは赤、青のカーブ共にギザギザした結果で、約 20GHz 程度までしか使える状態になかったが、31 年度のグラフでは約 2dB 程度のロスがスムーズに 67GHz まで伸びていて正確な測定出来ている事が伺える。



最終章 全体総括

本プロジェクトでは、高精度に SMPM・SMPS コネクタ搭載デバイスを測定する為に正確な校正が出来る基準器を開発する事を目的に、具体的に以下の目標を定め推進した。

- インピーダンス設計値(シミュレーション値)からのバラツキ(偏差)が±5%以内の基準器開発
- 精度が±1%以内となる SMPM(S) 基準器を用いた評価技術を開発

この目標を達成する為、3次元電磁界解析を駆使し試作品を作る作業を行ったが、開発開始当初はシミュレーション結果と試作品の出来栄が上手く合わない現象があり、試作品の実物と設計図の比較、試作品の製造工程における最適化等を行う等、想定外の状況も発生したが、最終的には目標

とした、インピーダンス設計値からのバラツキ $\pm 5\%$ を達成し、実用の精度が $\pm 1\%$ となる基準器を作る事に成功した。

プロジェクトには、川下事業者（測定器メーカーと光通信デバイスメーカー）が参画し、情勢の変化や、開発の助言、また実用面での助言等の情報を共有する事により、当初の計画では基準器は単体で9つのエレメントを搭載した1つのデバイスだったが、交換費用等の低減や、川上企業（研究開発企業）の歩留まり向上の為、9つのエレメントを以下の写真の様に、9分割して個別に作る事に対応する事ができた。

現在は、最終試作品と同等品を追加で製作し、川下事業者にて市場評価を実施しており、2020年下期にはテスト販売開始、2021年中には販売を開始予定。

最終試作品写真

