

次世代通信技術を支える 計量標準・計測技術

産業技術総合研究所 計量標準総合センター
物理計測標準研究部門

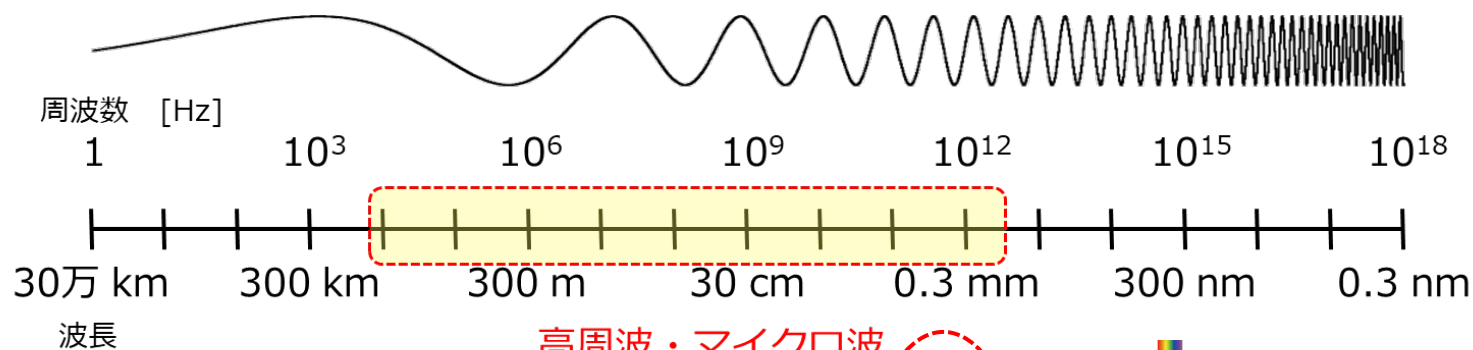
木下 基

関連する研究グループ



高周波

- ・電磁波の一種
- ・放送、通信、天文、検査・探査などに応用



低周波

高周波・マイクロ波
(大体9 kHz ~ 3 THz)

テラヘルツ波

電波

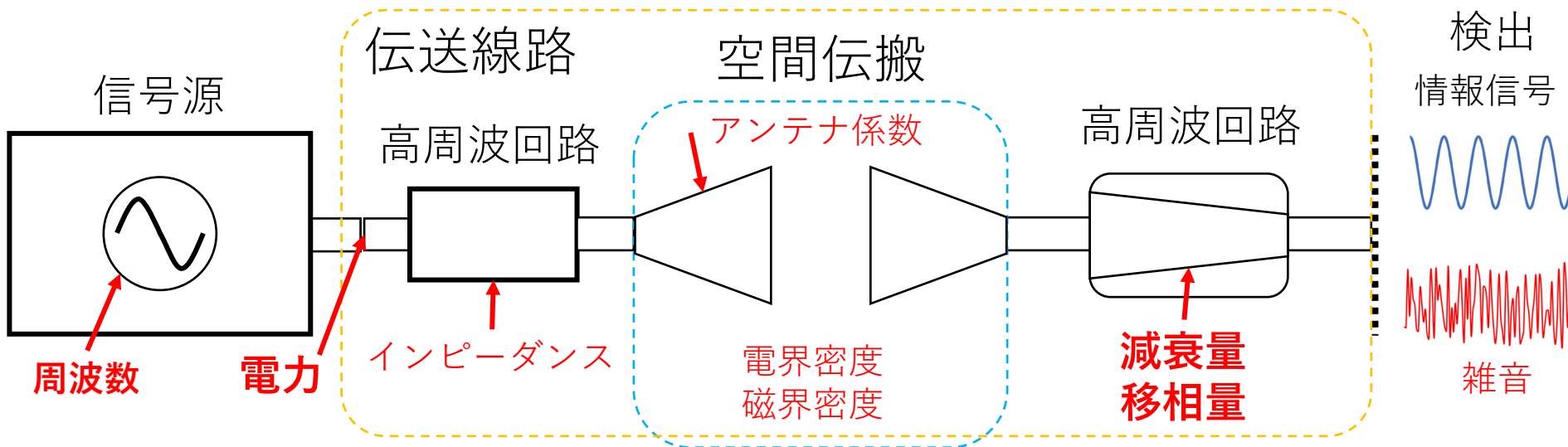
超長波 長波 中波 短波 超短波 極超短波 センチメートル波 ミリ波

遠近
赤外線

可視光 紫外線 X線 γ線



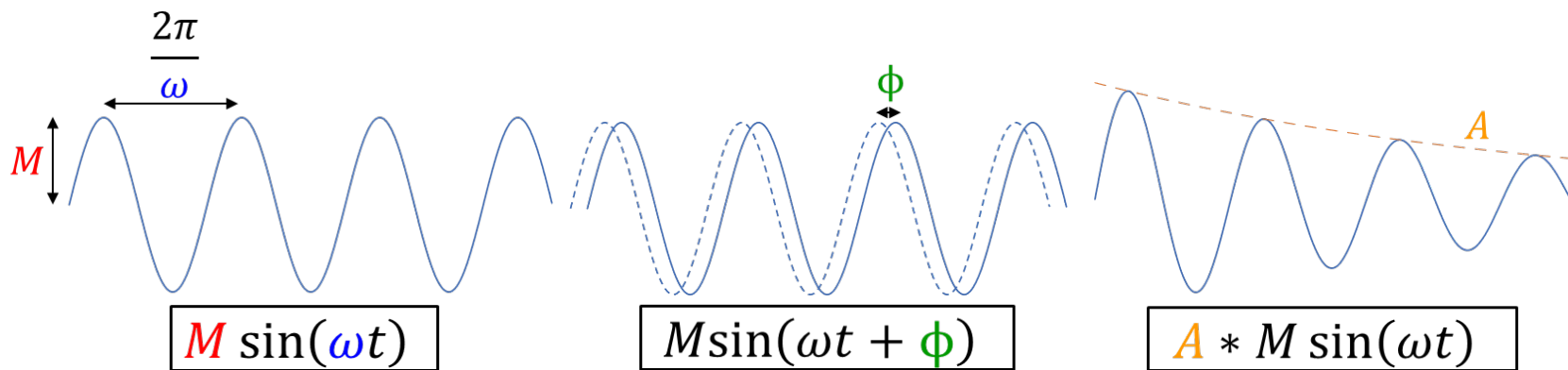
「高周波」に関する測定標準

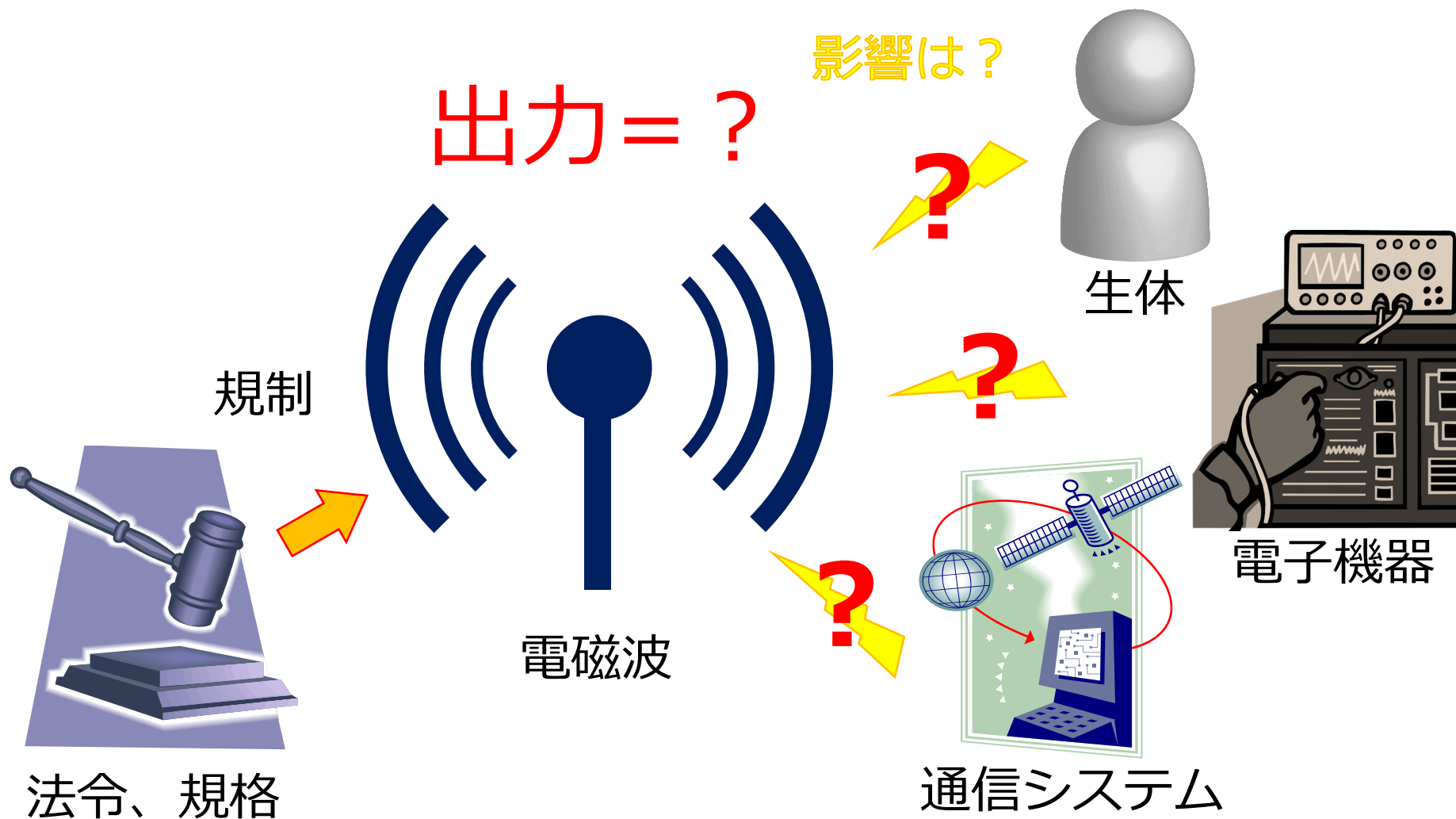


高周波標準研究グループでは…

- 電力・電圧
- 減衰量
- 位相
- 周波数(時間)

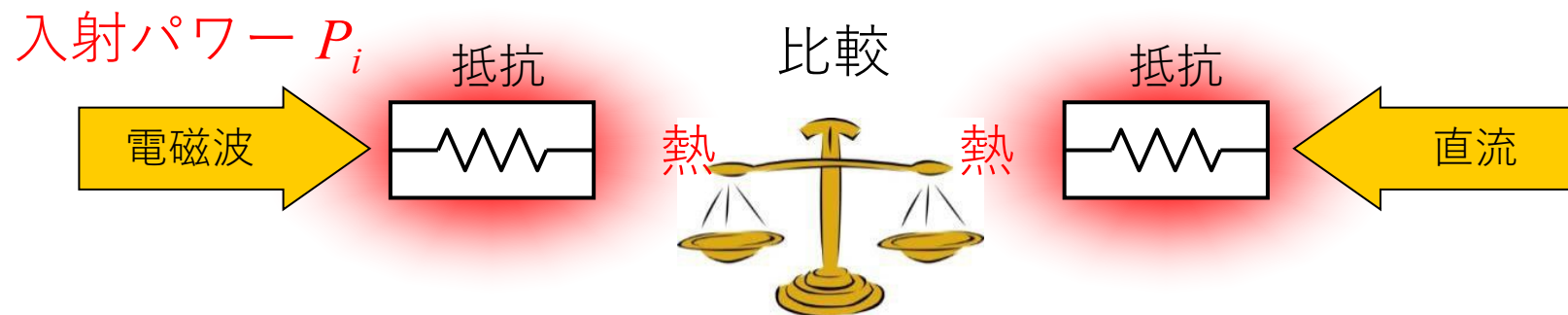
に関する標準開発を担当





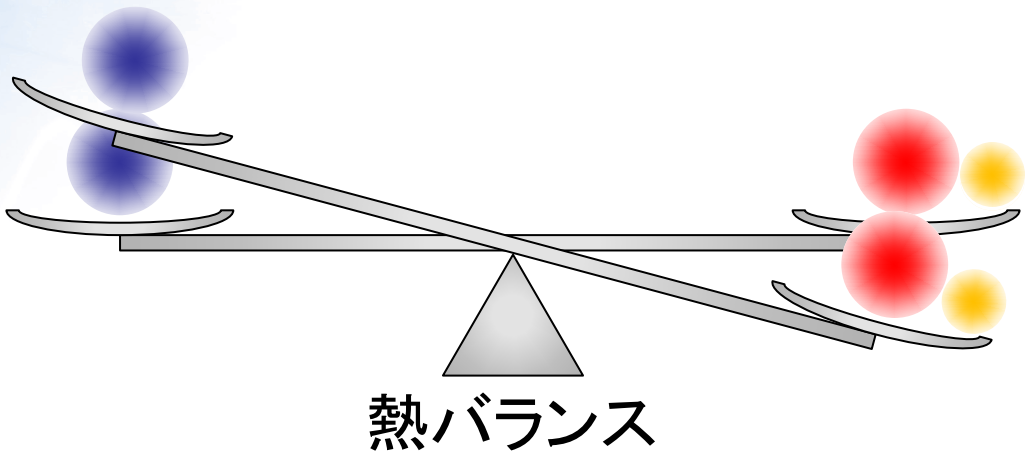
電磁波の公共利用においてパワー測定は不可欠

カロリメータの基本動作原理

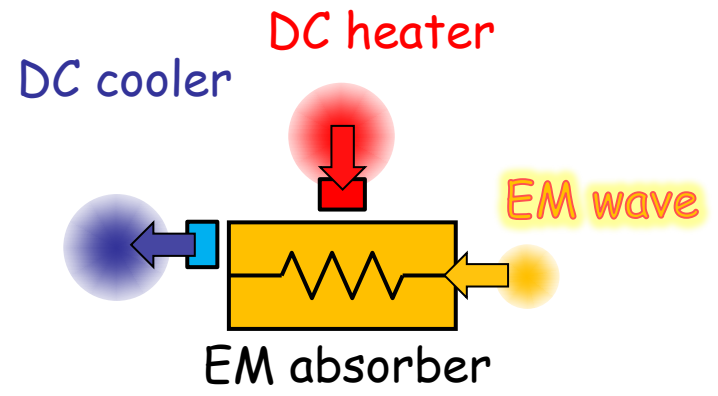


熱を介して直流電力に置換する

等温制御カロリメータの原理



カロリメータの基本構造



熱の釣り合い

$$P_{cooler} = P_{heater1}$$

$$P_{cooler} = P_{EM} + P_{heater2}$$

$$P_{EM} = P_{heater1} - P_{heater2}$$

カロリメータの補正要素

反射

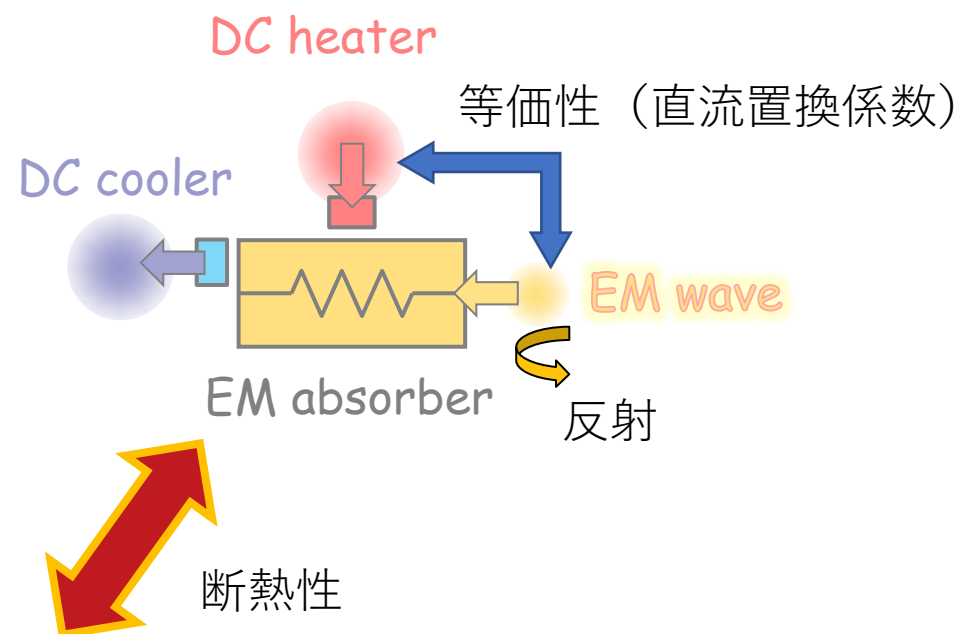
インピーダンスミスマッチ、フレネル反射、散乱

直流等価性

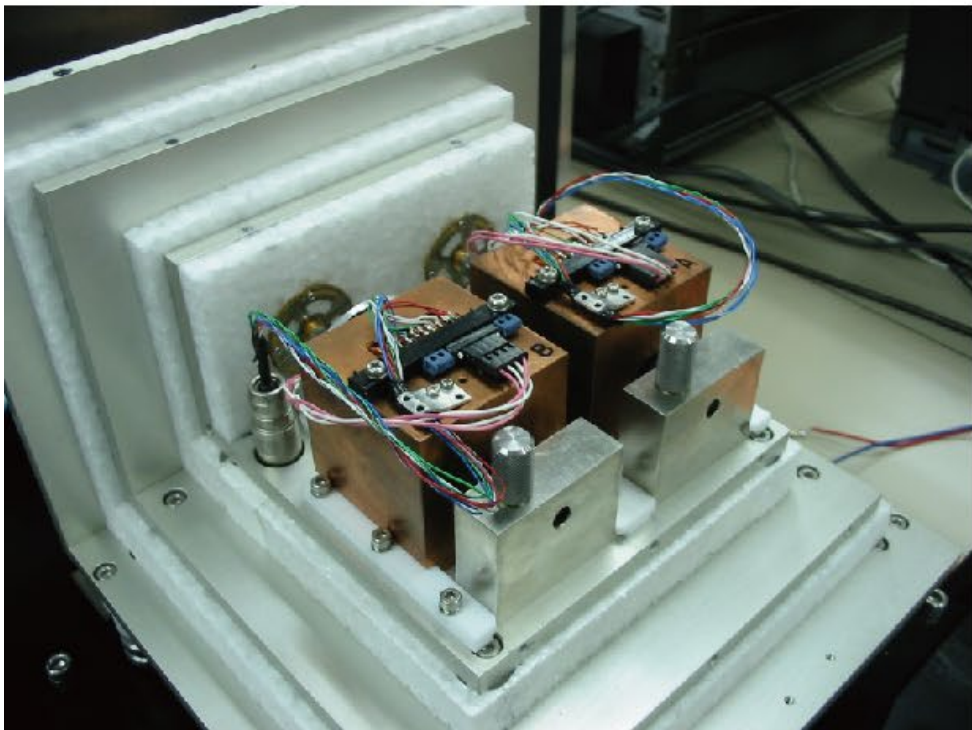
直流ヒーターと電磁波による発熱の差異

断熱

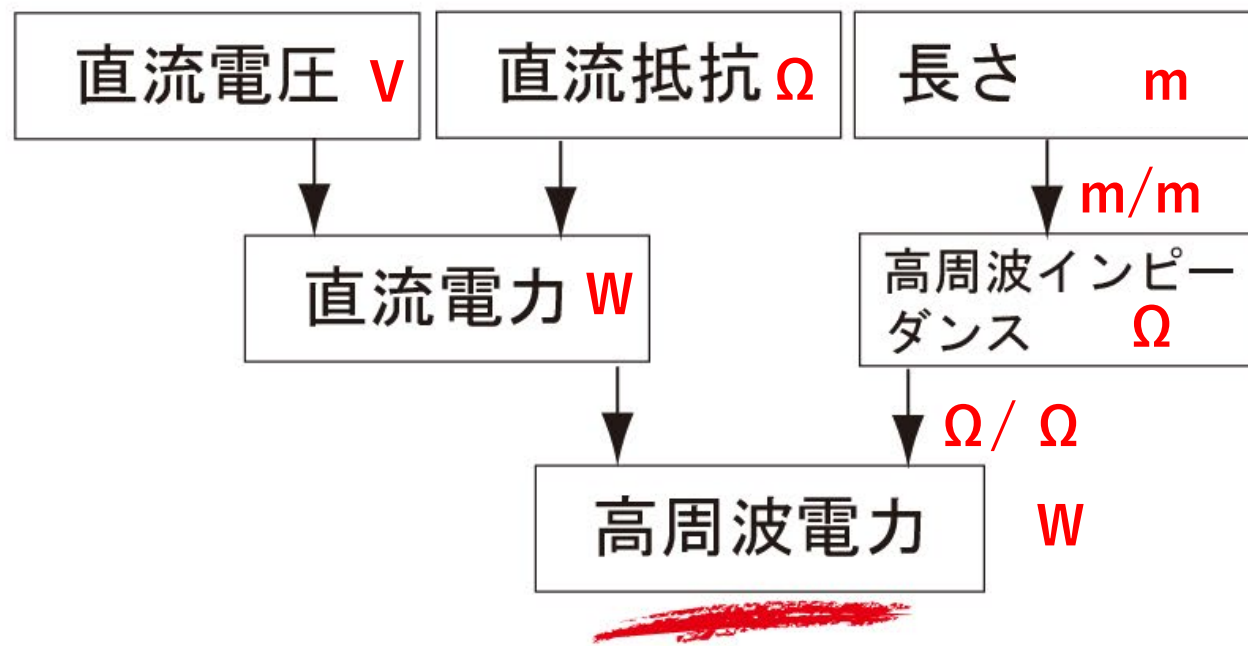
環境や信号源からの熱雑音

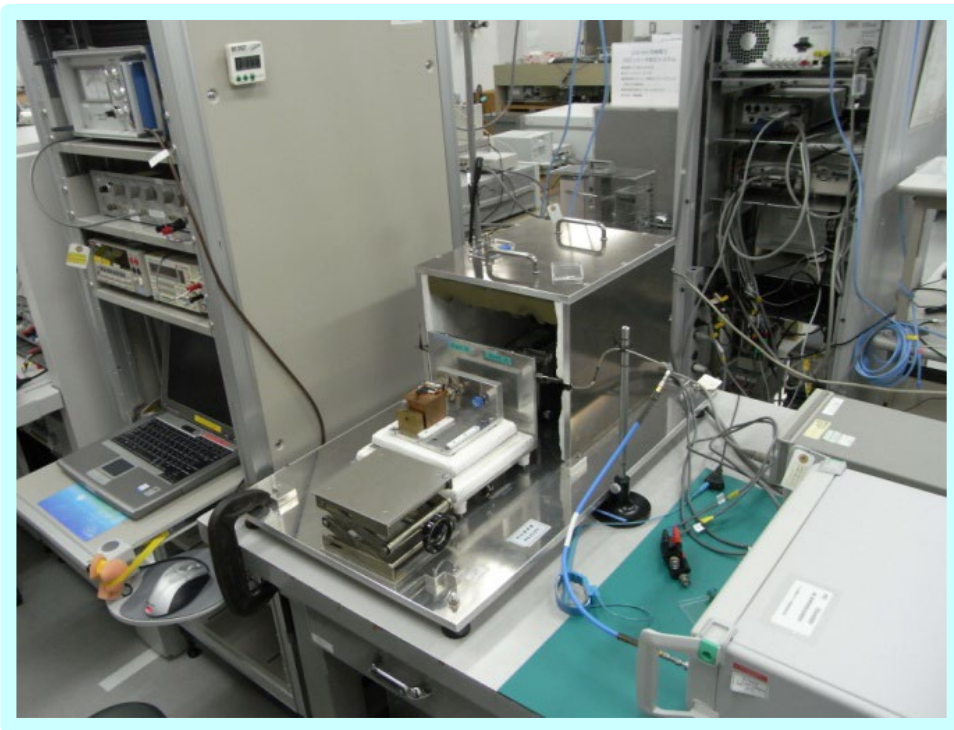


高周波電力 (W) の組み立て



2.9 mm同軸カロリメータ

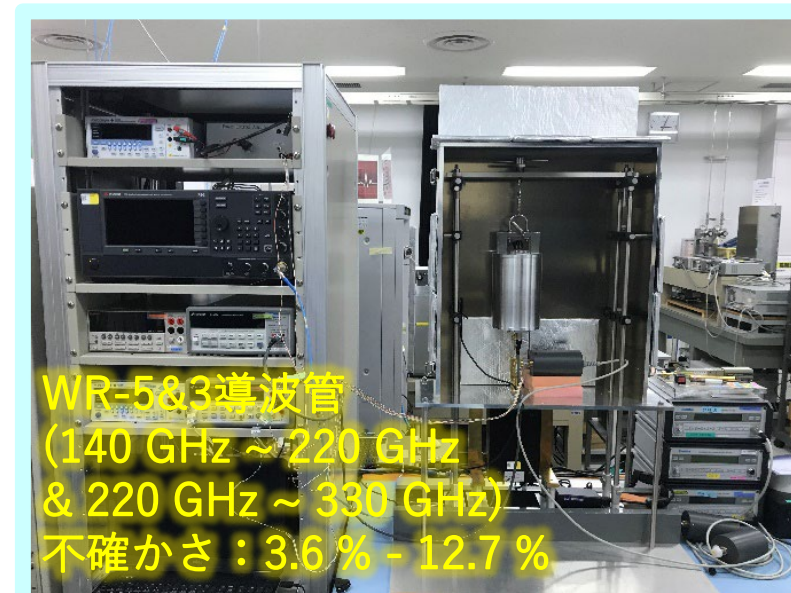
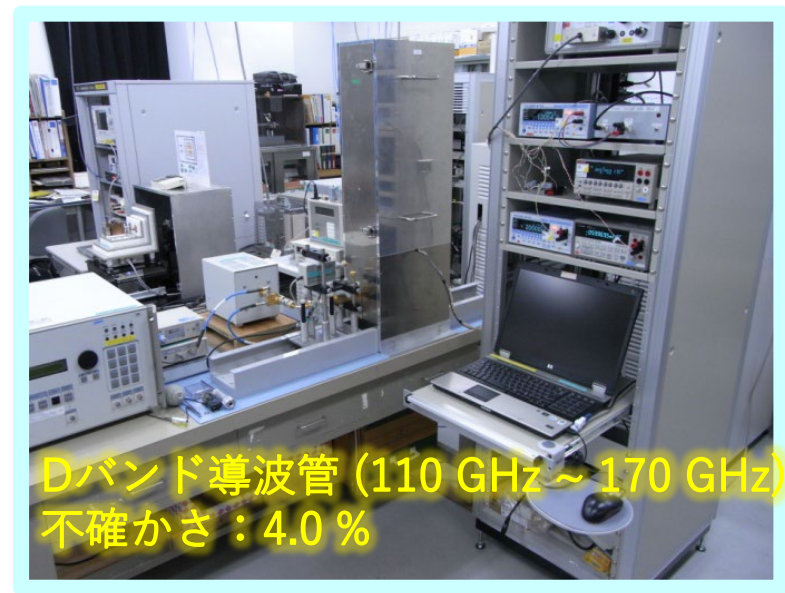




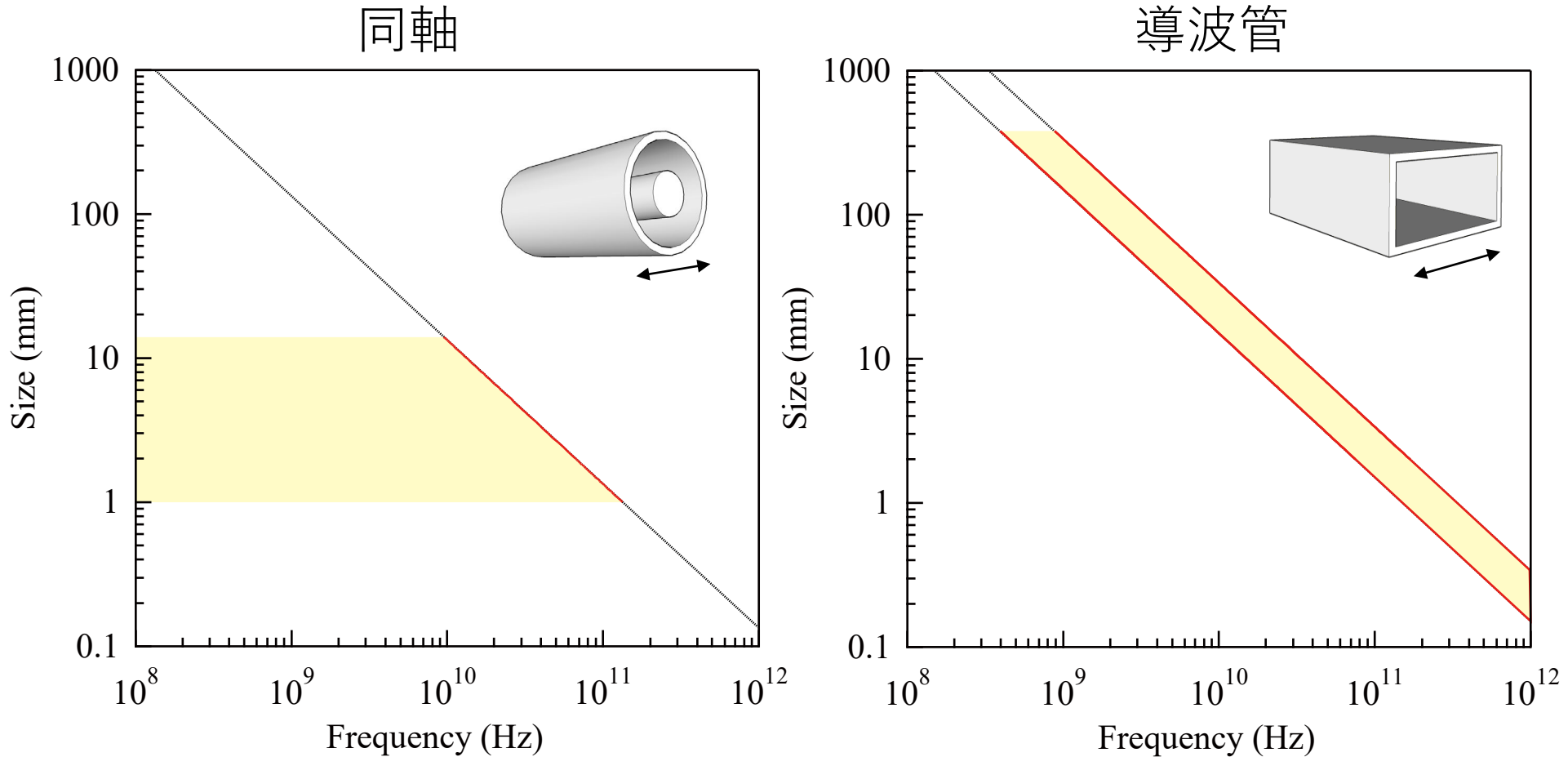
同軸7 mm (10 MHz ~ 18 GHz)
不確かさ : 0.34 % - 1.20 %



同軸2.9 mm (10 MHz ~ 40 GHz)
不確かさ : 0.6 % - 2.4 %



同軸・導波管のサイズと対応周波数

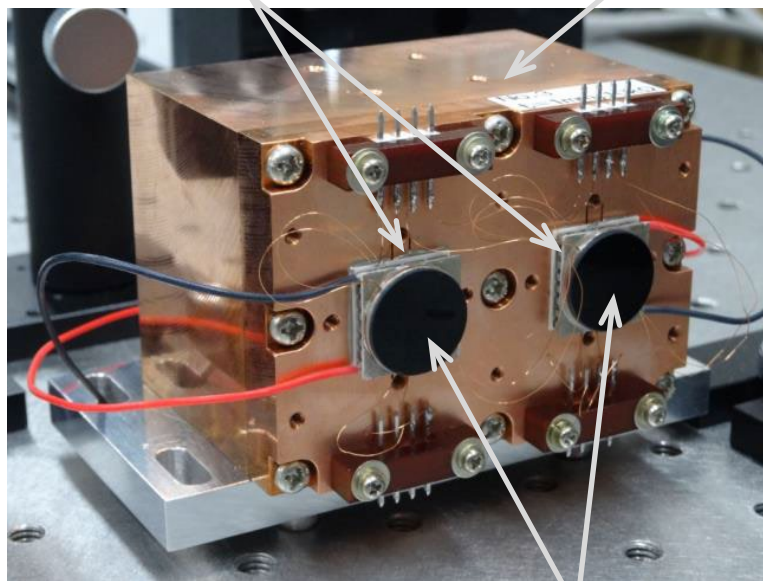


THz帯では0.1 mm程度

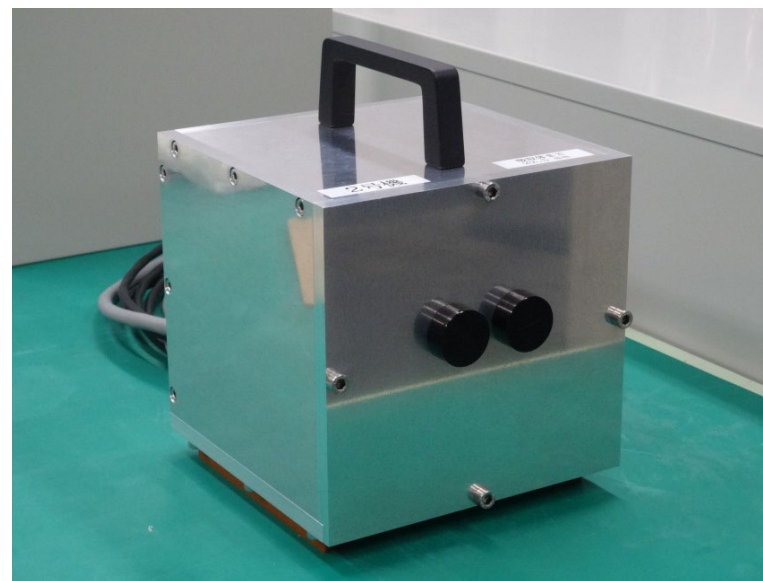
テラヘルツカロリメータ(自由空間)

熱電変換素子

温度基準ブロック



テラヘルツ吸収体

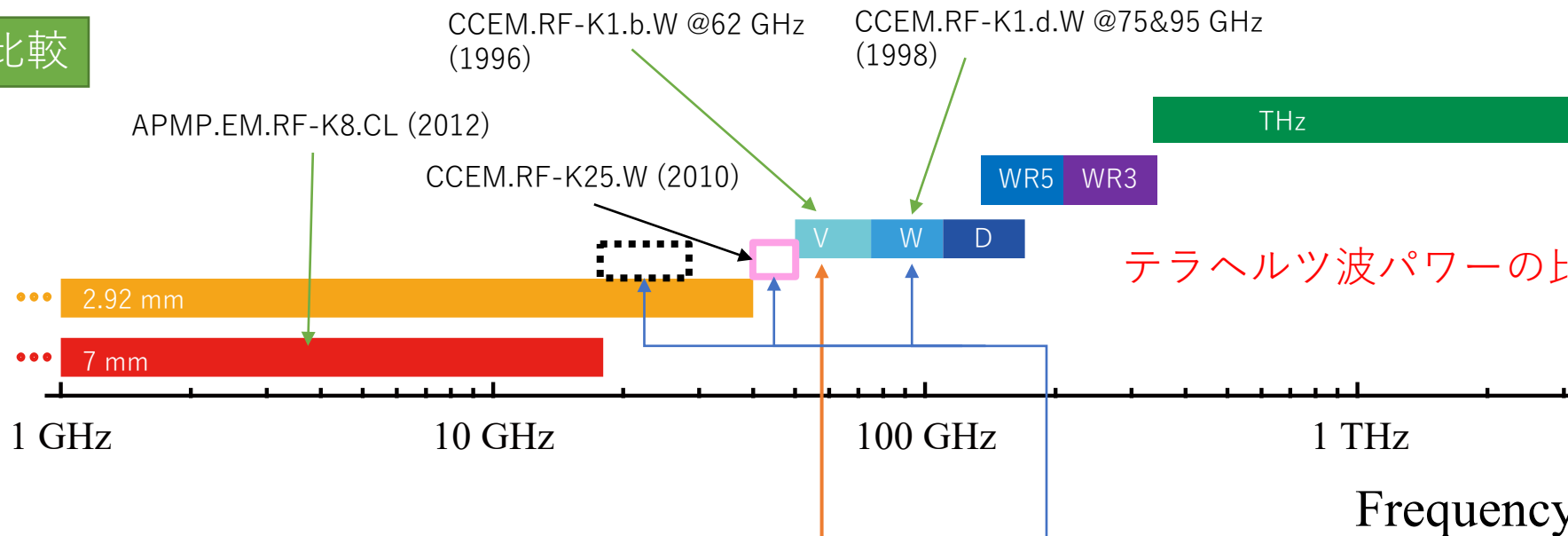


周波数範囲：300 GHz – 3 THz
 不確かさ： 2.4 % - 6.2 %

各種カロリメータの特徴と精度

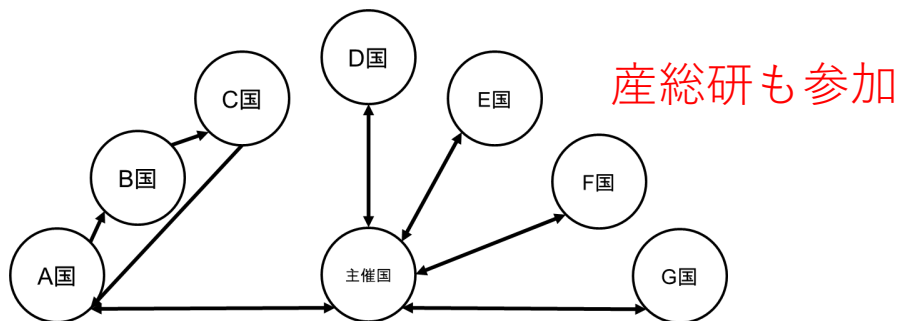
	マイクロ波: ~40 GHz (同軸)	ミリ波: ~330 GHz (導波管)	テラヘルツ波: ~3 THz (自由空間)
反射	◎	○	×
直流等価性	◎	×	×
断熱性	×	×	◎
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 計測器が充実 直流等価性が実測可能 	<ul style="list-style-type: none"> 信号：弱 導波管内の損失大 	<ul style="list-style-type: none"> 信号：微弱 評価技術が未成熟 導波路未使用のため断熱性が高い
不確かさ	0.34 % – 2.4 %	1.5 % – 12.7 %	2.4 % - 6.2 %

過去の国際比較



現在進行中

CIPM Key comparison CCEM.RF-K27.W (2019.5-present)
 現在報告書の第二案 (Draft B) を作成中



予定

今後、
 Wバンド (75 GHz - 110 GHz)
 Kバンド (18 GHz - 26.5 GHz)
 PC2.4 (DC - 50 GHz)
 などの国際比較を予定

テラヘルツ波パワーの比較はまだ先？

テラヘルツ波計測の精度評価技術開発

テラヘルツ波減衰量(線形性)の評価・検証

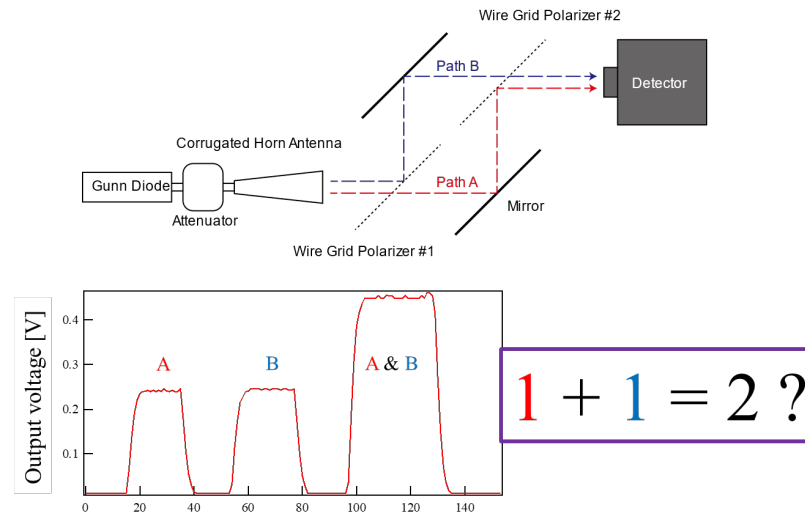
◎テラヘルツ帯薄膜減衰器

ポリエステルフィルムに金属薄膜を蒸着したTHz用薄膜減衰器。光学系に依らず再現性の良い減衰量を実現。THz-TDSの直線性の妥当性検証に利用できる。



◎重ね合わせ法による自己校正

個別に測定した場合に等しい測定値を示す信号を2つ同時に入力したとき、「1+1=2」が成り立つかを検証する。以後、尺取り虫方式で「2+2=4」、「4+4=8」、・・・と続け、減衰量(線形性)の自己校正を実施する。



周波数確度の検証

◎光・テラヘルツ共用エタロン

2枚の反射鏡を平行に重ねたファブリペロー共振器の干渉周波数によりTHz周波数の検証が可能。レーザ波長にトレーサブルな正確なFSRを決定できる。



Beyond 5G/6G実現に向けた計測技術の研究開発

物理計測標準研究部門 電磁気計測研究グループ

- 当グループでは、Beyond-5G/6Gの実現に向け、300 GHz帯までの計測技術を開発し、これら計測結果に基づく各種要素技術の研究開発を推進しています。
- これらの研究成果・取り組みを活用し、Beyond-5G/6Gに関連するあらゆる分野の研究開発に貢献し、2030年までの社会実装を目指しています。

【300 GHz帯までの計測・評価技術】

- ✓ 誘電率、導電率、界面導電率の計測
- ✓ アンテナ評価システム
- ✓ デバイス計測システム
- ✓ ロードプル、パワー、NF

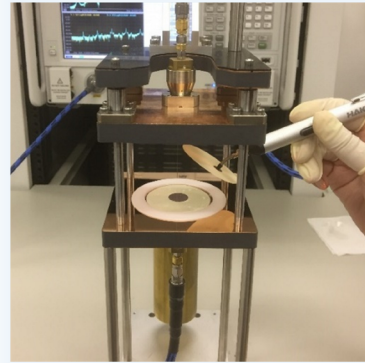
【要素技術開発の例】

- メタサーフェス反射板
- アンテナ、AiP
- アンプ
- センシング

【関連する分野】

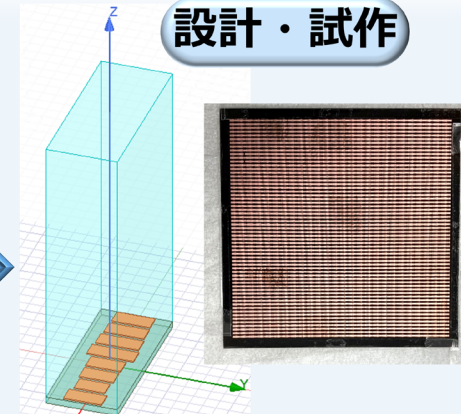
- 情報通信/半導体
- 量子
- マテリアル
- エネルギー

計測



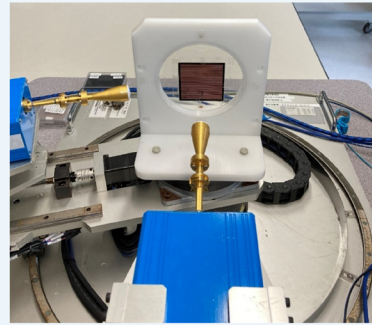
- 平衡型円板共振器法によるミリ波帯誘電率・導電率計測
- オンウェハ、デバイス計測

設計・試作



- 動作周波数における、材料パラメータの高精度な推定値に基づくデバイス設計

特性評価



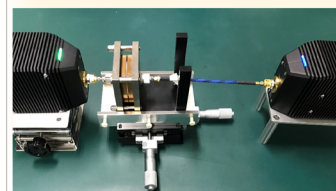
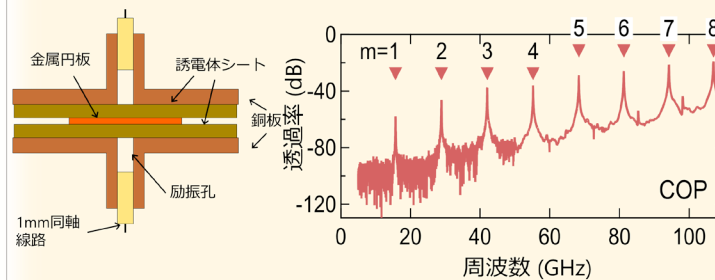
設計と実測のずれの原因

- 材料パラメータが不正確（解決）
- アンテナ計測が不正確（解決）
- 試作誤差、解析誤差

高精度な計測で課題が明確化
⇒開発期間の短縮

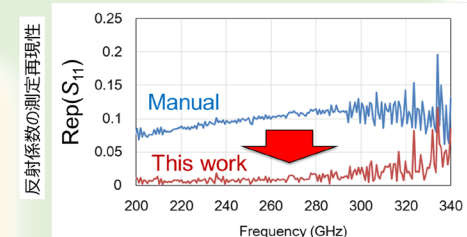
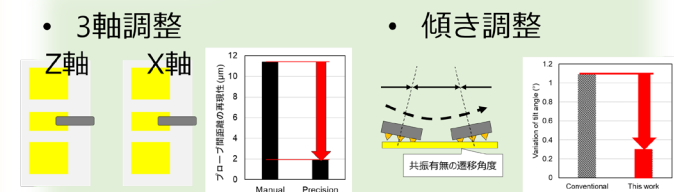
多数の計測ソリューションがあります。
是非ご相談下さい。

○材料計測の基盤技術
：平衡型円板共振器法



- TM_{0m0}モードのみを選択的に励振することで、**単一共振器による広帯域測定**を実現（20 GHz以下～100 GHz超）
- 誘電体シートの**面直方向誘電率測定**
- 金属箔の**導電率測定**、**界面導電率測定**

○オンウェハ・デバイス計測の基盤技術：独自のプローブ位置制御



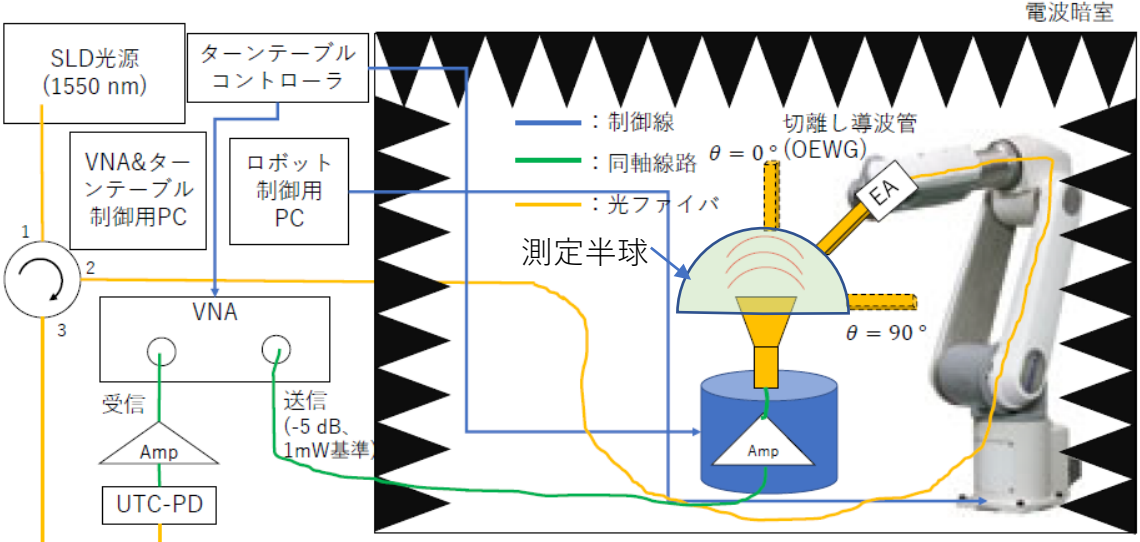
- 独自のプローブ制御技術により測定再現性を大きく改善

Beyond 5G/6G実現に向けたアンテナ評価システムおよび反射板評価システムの開発

物理計測標準研究部門 電磁界標準研究グループ 銚谷

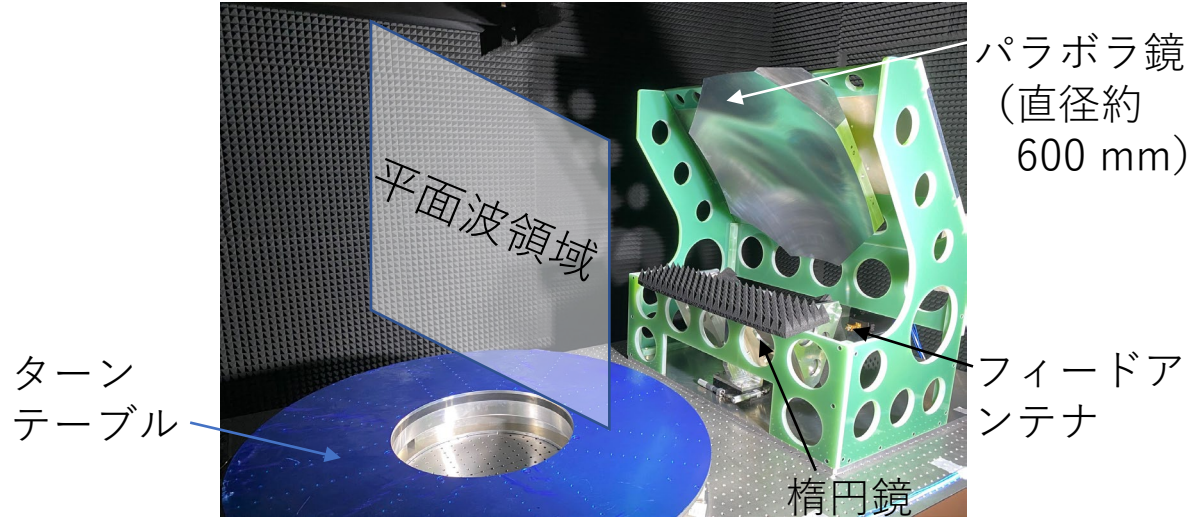
- Beyond-5G/6Gでは、アンテナの放射パターン評価および伝搬路形成のための反射板のRCSパターンの評価が重要となります。
- 当グループでは、アームロボットを用いた球面近傍界測定による放射パターン評価システムと、コンパクトレンジ法によるアンテナおよび反射板評価システムを開発中です。

球面近傍界測定法による5G 周波数帯アンテナの放射パターン評価システムの開発

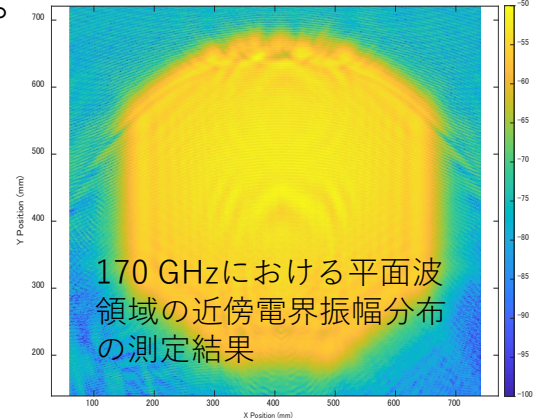


- ・ アンテナ前方の半球面における近傍界の振幅・位相分布から球面波展開を行い、遠方における放射パターンを求める。
- ・ 球面近傍界測定法は鋭いビームのアンテナでも、ブロードなアンテナでも、どちらでも対応可能。
- ・ アームロボットの位置精度の問題があるため、精度良く測定可能な周波数は100 GHz程度。

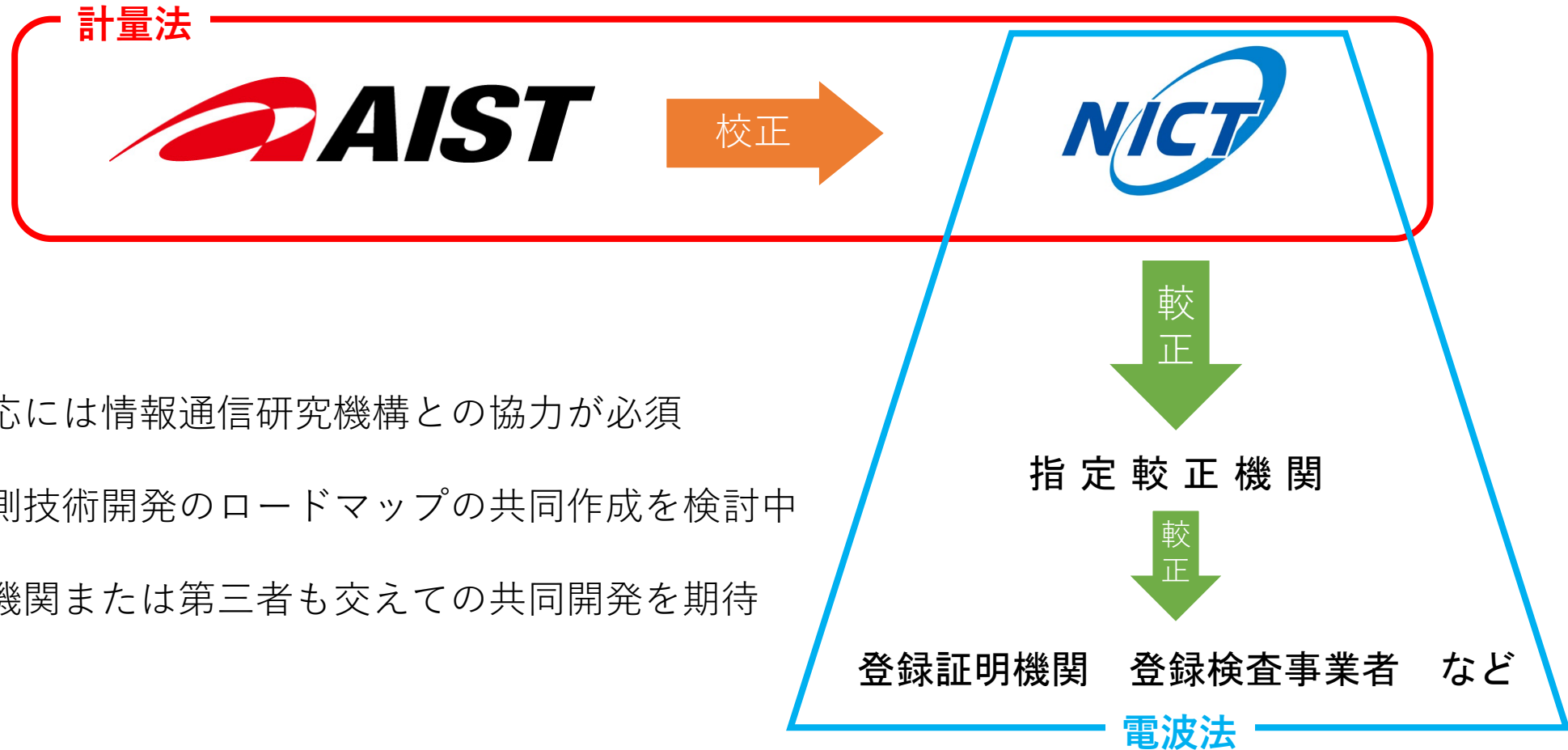
コンパクトレンジ法による300 GHz帯のアンテナおよび反射板評価システムの開発



- ・ パラボラ鏡と楕円鏡の二面鏡で構成されるオフセットグレゴリアンアンテナ方式を採用。パラボラ鏡のみの一面鏡構成よりも広い平面波領域が得られる。
- ・ アンテナから約1 mの位置に直径400 mmの平面波領域を生成し、電氣的に大きなアンテナおよび反射板の正確な遠方界放射パターンおよびRCSパターンが測定可能。330 GHzまで動作確認済み。



国内協力体制



- 電波法対応には情報通信研究機構との協力が必須
- 標準・計測技術開発のロードマップの共同作成を検討中
- 今後、両機関または第三者も交えての共同開発を期待