

内水氾濫検知のための下水管構造 を利用した電波による水位計測

大阪工業大学 工学部 電子情報システム工学科
教授 熊本 和夫

2024年11月5日

発表の流れ

- 研究背景
- 研究目的
- タラップアンテナの構造と原理
- 実験およびシミュレーションによる評価、結果
- まとめ、今後の検討事項、展望

Society 5.0の活用が期待される分野

暮らし(ドローンによる買い物支援、自動運転など)

農林水産業・建設(スマート農業、建設工事支援など)

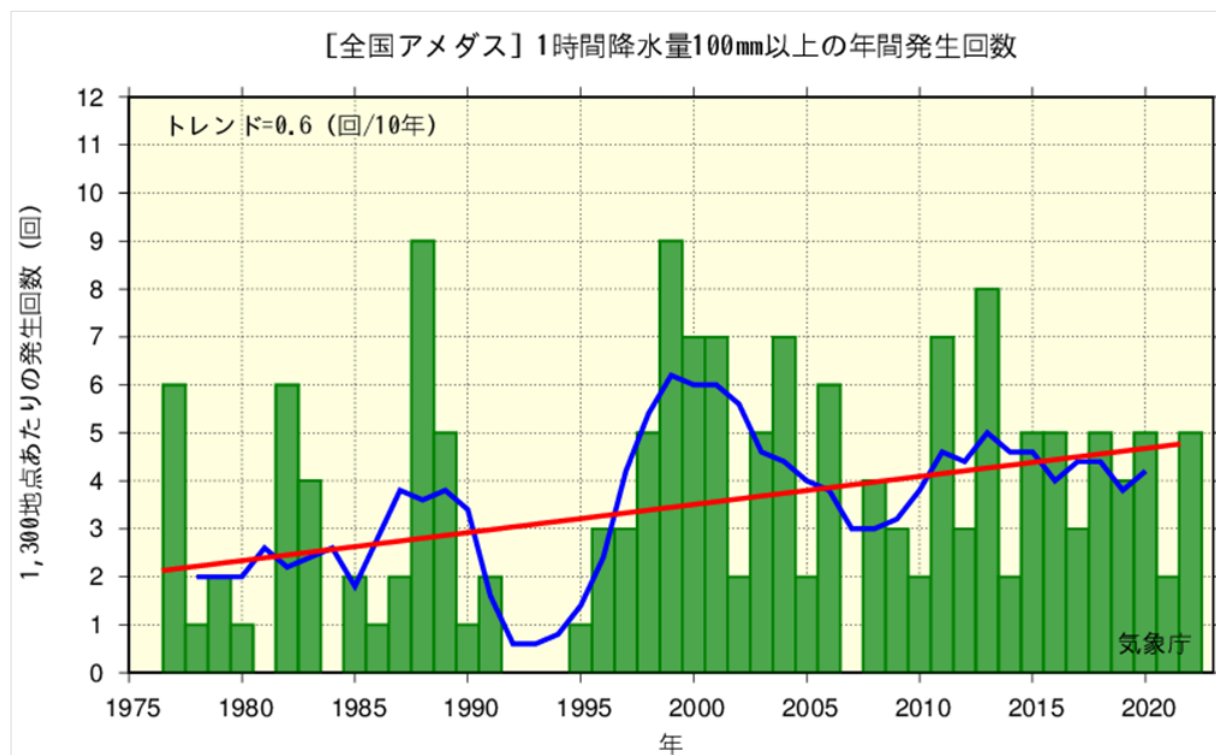
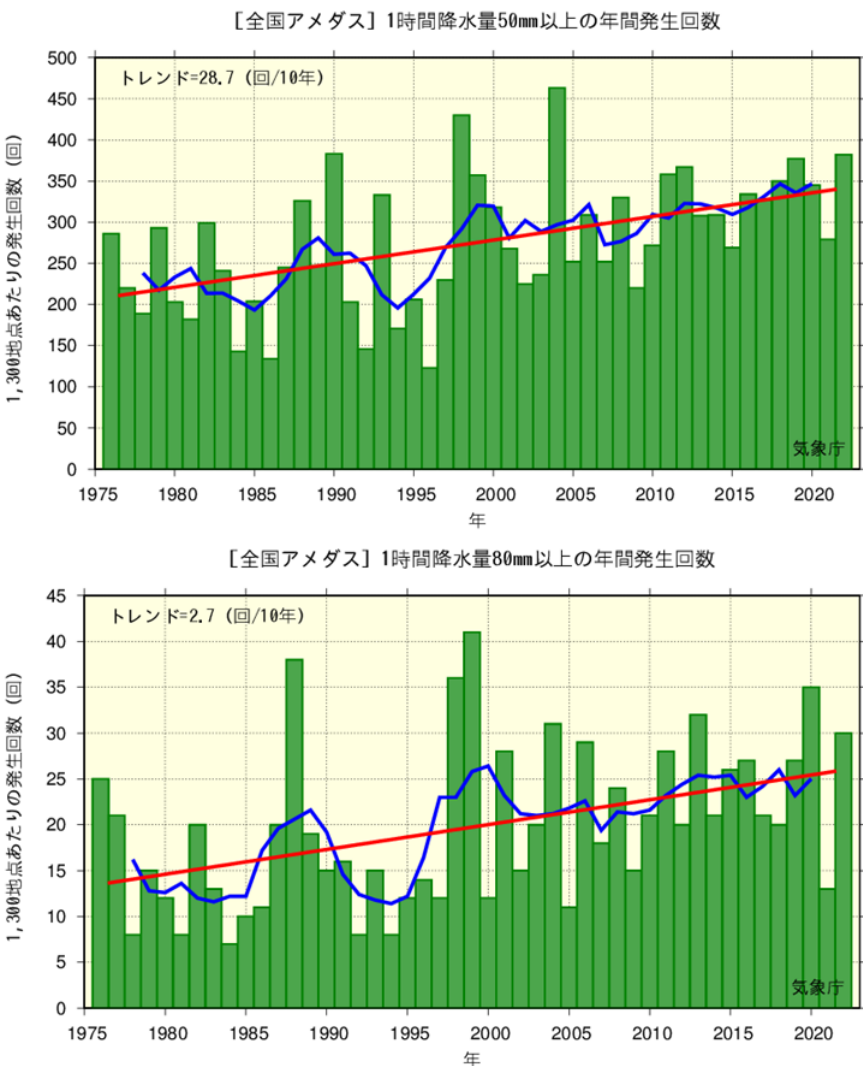
医療(遠隔医療・遠隔診断・電子カルテなど)

工場(自動化、制御など)

災害対応(被害状況の把握、救助支援、スマート防災など)

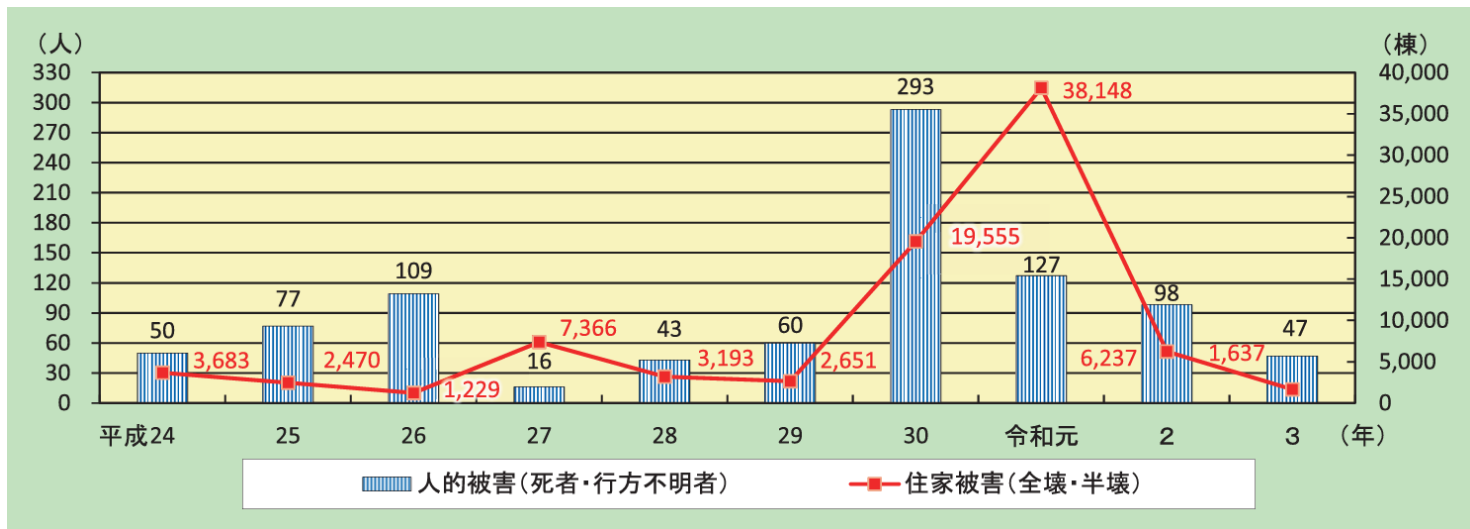
教育(遠隔授業など)

近年のゲリラ豪雨の発生動向



気象庁「大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化」より抜粋

風水害の被害数の推移



番号	災害名(期間)	主な被災地 (特別警報が発表された都道府県)	人的被害(人)				住家被害(棟)					消防庁の対応
			死者	3% 災害関連死者	行方 不明者	負傷者	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	
1	6月29日から大雨(6/29~7/2頃)	関東・中部・九州				4		1	12	2	15	・災害対策本部設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出
2	令和2年7月豪雨(7/3~31頃)	東北・中部・九州 (大雨特別警報: 長野・岐阜・福岡・佐賀・長崎・熊本・鹿児島)	84		2	82	1,624	4,529	2,125	1,746	6,230	・災害対策本部設置(第3次応急体制) ・警戒情報、通知発出 ・消防援助隊、消防庁職員派遣
3	8月6日からの低気圧及び前線に伴う大雨(8/6~9頃)	北海道・中国				4			24	12	54	・災害対策本部設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出
4	台風第9号(8/31~9/3頃)	中国・九州				34	5	7	104		35	・災害対策本部設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出
5	台風第10号(9/4~7頃)	中部・九州	3		3	110	7	43	1,680	31	252	・災害対策本部設置(第3次応急体制) ・警戒情報、通知発出 ・消防庁職員派遣
6	台風第12号(9/23~25頃)	近畿					1		2	6	35	・災害対策本部設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出
7	台風第14号(10/7~11頃)	関東・中部・近畿 (大雨特別警報: 東京)				3			15			・災害対策本部設置(第3次応急体制) ・警戒情報発出

番号	災害名	主な被災地 (特別警報が発表 された都道府県)	人的被害(人)			住家被害(棟)					消防庁の対応	
			死者	3ヵ月 災害関連死者	行方 不明者	負傷者	全壊	半壊	一部破損	床上浸水		床下浸水
1	7月1日からの梅雨前線による大雨(7/1~14頃)	関東・中部・中国・九州 (大雨特別警報: 熊本・ 宮崎・鹿児島)	27	1	2	12	59	118	350	515	2,455	・災害対策本部設置(第3次応急体制) ・警戒情報発出 ・緊急消防援助隊、消防庁職員派遣
2	台風第8号(7/26~28頃)	東北・関東	1								1	・災害対策本部設置(第3次応急体制) ・警戒情報発出
3	台風第9号及び台風第10号(8/4~10頃)	東北・近畿・中国	2			45	9	58	529	35	113	・災害対策室設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出
4	8月11日からの前線による大雨(8/11~23頃)	中部・中国・九州 (大雨特別警報: 広島・ 福岡・佐賀・長崎)	13			17	45	1,321	337	845	4,390	・災害対策本部設置(第3次応急体制) ・警戒情報発出
5	台風第14号(9/11~18頃)	四国・九州				9		3	78	42	186	・災害対策室設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出
6	台風第16号(9/29~10/2頃)	関東				21		1	164	1	2	・災害対策室設置(第1次応急体制) ・警戒情報発出

消防庁「消防白書」より

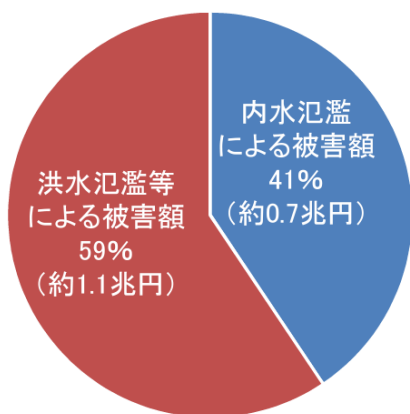
浸水被害は、前線による豪雨(線状降水帯)によるものが多い
夏季だけでなく通年災害リスクが高まる
西日本だけでなく、日本海側においても被害が発生(2023年以降)

過去10年の水害被害額と内訳

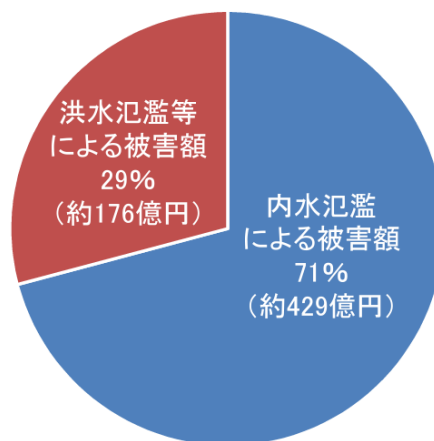
年	水害被害額	年	水害被害額
平成 24 年	約 3,500 億円	平成 29 年	約 5,400 億円
平成 25 年	約 4,000 億円	平成 30 年	約 1 兆 4,000 億円
平成 26 年	約 3,000 億円	令和元年	約 2 兆 2,000 億円
平成 27 年	約 3,900 億円	令和 2 年	約 6,600 億円
平成 28 年	約 4,700 億円	令和 3 年	約 3,700 億円

平成30年、令和元年は西日本豪雨など特に大規模な水害が発生した年

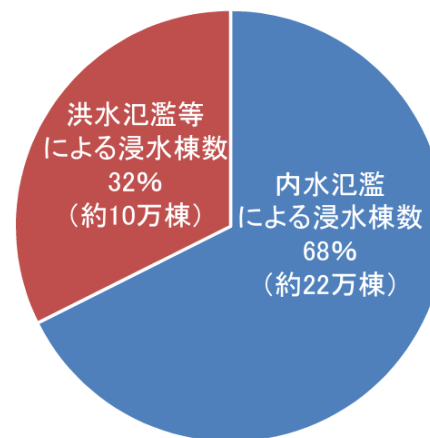
【被害額】＜全国＞



【被害額】＜東京都＞



【浸水棟数】＜全国＞



平成30年の被害の内訳(内水氾濫の被害は都市部で顕著)

国土交通省 資料より

内水氾濫と下水道の役割

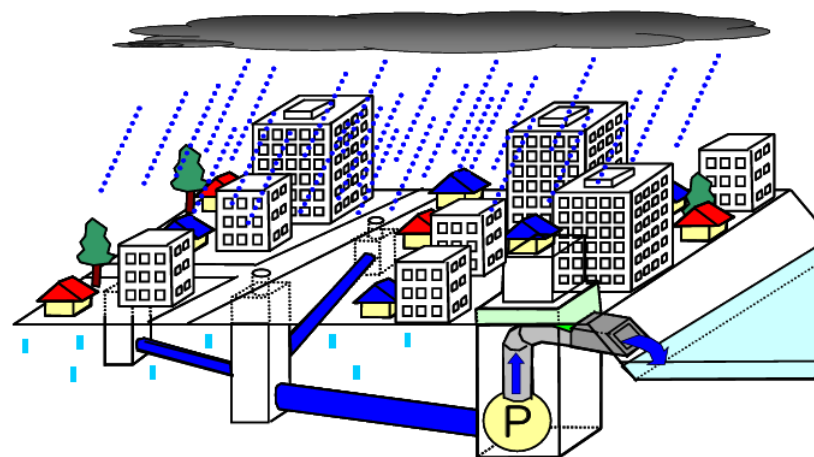
- 都市の浸水には、都市に降った雨が河川等に排水できずに発生する「内水氾濫」と河川から溢れて発生する「外水氾濫」がある。
- 下水道は、都市に降った「内水の排除」という役割を担っており、河川等に放流するための雨水管やポンプ場、貯留浸透施設等を整備。

【内水氾濫】



下水道の雨水排水能力を上回り浸水、または河川水位の上昇により、下水道から河川へ放流できず浸水

【下水道の役割】



雨水管やポンプ場、貯留浸透施設等を整備し、雨水を河川等へ排除

国土交通省 資料より

内水氾濫によるリスク



- ・ 金銭的被害（家屋、車etc...）
- ・ 身体的被害
マンホールの蓋が飛ぶことによる被害、マンホールへの転落
- 汚水を含んだ水につかることによる健康被害

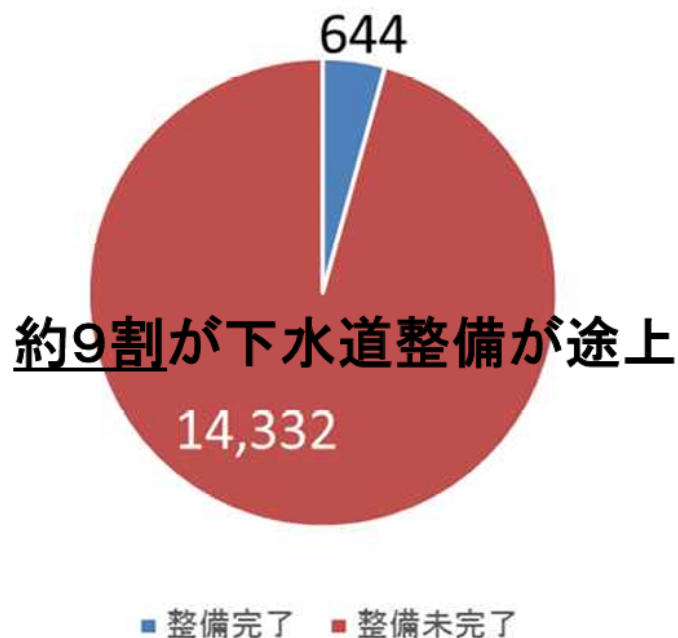
◀ 内水氾濫の発生のイメージ

協力:ヒノデホールディングスならびに
日之出水道機器株式会社様

内水氾濫への自治体の対応状況

- 平成30年7月豪雨の被災自治体に浸水原因についてアンケートを実施（浸水戸数約1.9万戸のうち約1.5万戸分について回答）。
- 内水氾濫等による浸水戸数の約9割が、下水道整備が途上である地区で発生。

○下水道整備状況と浸水戸数（国土交通省下水道部調べ）



国土交通省 資料より

内水氾濫対策の基本方針

7つのガイドライン類

・浸水対策を実施すべき区域の
明確化（雨水公共下水道等）

下水道法改正（H27）

・官民連携による浸水対策を行う
「浸水被害対策区域」制度の創設

雨水管理総合計画 策定ガイドライン（案）

官民連携した 浸水対策の手引き（案）

- 下水道による浸水対策を実施すべき区域や対象目標等を定めた、「雨水管理総合計画」の策定ガイドライン。事業計画策定時に活用。
- 平成29年の増補は、浸水リスクの簡易な推定事例を追加するとともに、比較的小規模な対策を組み合わせた迅速かつ効率的な対策事例を追加。
- 策定に当たっては、効率的雨水管理支援事業で支援。

- 主に浸水被害対策区域制度を活用した、官民連携による浸水対策に関する手引き。
- 平成29年の増補は、浸水被害対策区域において、民間事業者等の設置する雨水貯留施設を管理協定に基づき公共団体が管理する場合に、協定に定めるべき事項等を追加。

下水道浸水被害軽減総合 事業の拡充（H27）

・事前防災のための事業実施
が可能に

下水道浸水被害軽減総合計画 策定マニュアル（案）

- 下水道施設の整備水準を超過する降雨に対して、重点的に対策を行うべき地区について安全性を緊急に確保することを目的とした、下水道浸水被害軽減総合計画の策定のためのマニュアル。

水位周知下水道制度に 係る技術資料（案）

- 主に地下街等が発達している区域に係る水位周知下水道の検討時に活用。
- 水位周知下水道の指定に向けた検討や住民への水位周知方法に関して記載。

水防法改正（H27）

・水位周知下水道、想定最大
降雨に対する内水浸水想定区
域制度の創設

内水浸水想定区域図作成 マニュアル（案）

水害ハザードマップ作成の 手引き

- 内水浸水想定区域図の作成を行う際に活用。
- 従来の既往最大降雨等だけでなく、想定し得る最大規模の降雨に対する内水浸水想定区域図の作成にあたっての浸水想定手法等を記載している。

- 洪水・高潮・津波ハザードマップ作成の手引きを含め統合したもの。

下水道浸水被害軽減総合 事業実施地区での水位観測 計画策定の義務づけ （H27）

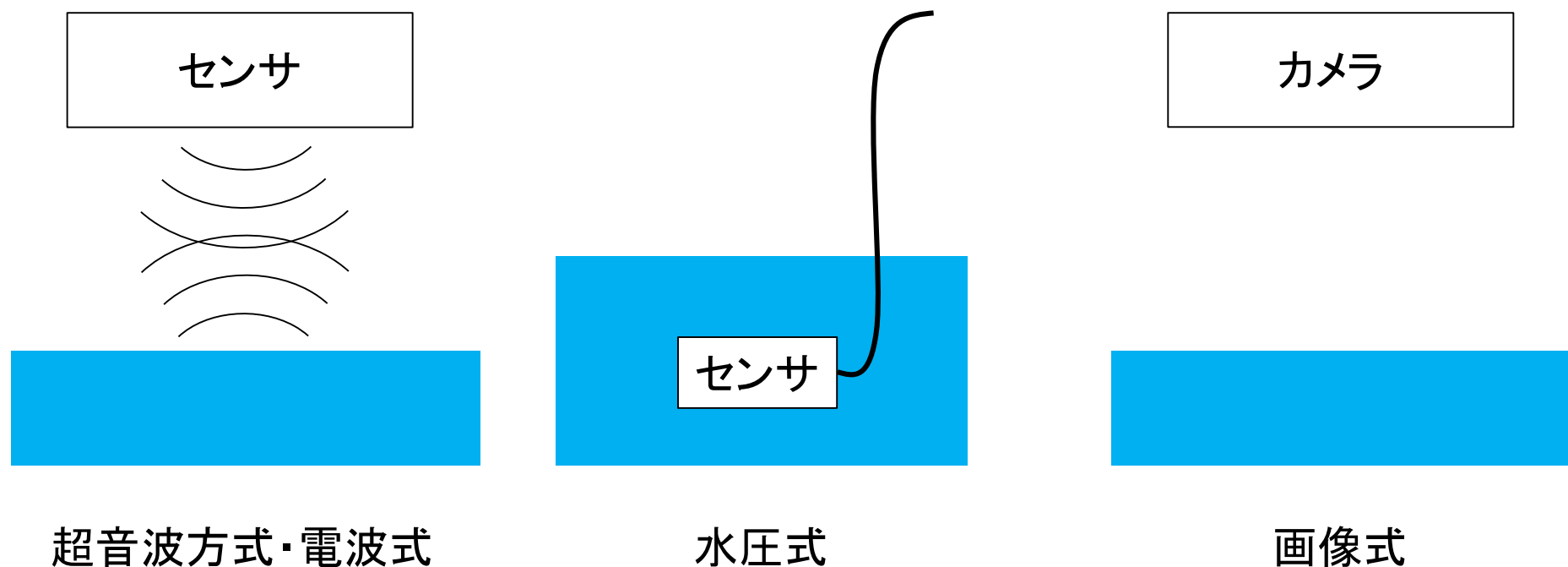
下水道管きよ等における 水位等観測を推進する ための手引き（案）

- 既存ストックを活用した効率的かつ効果的な浸水対策を実施するため、その前提となる水位等観測に対する必要な手順及び考え方を示したもの。
- 雨水管理計画の策定時及び運用時において、下水道の雨水管や合流管等での水位等観測を実施する場合に参考。
- 平成29年の増補は、調査地点や水位計の選定、設置・維持管理手順の検討に関する考え方を追加し、また長期間/浸水発生時の水位観測における実態について追加

1

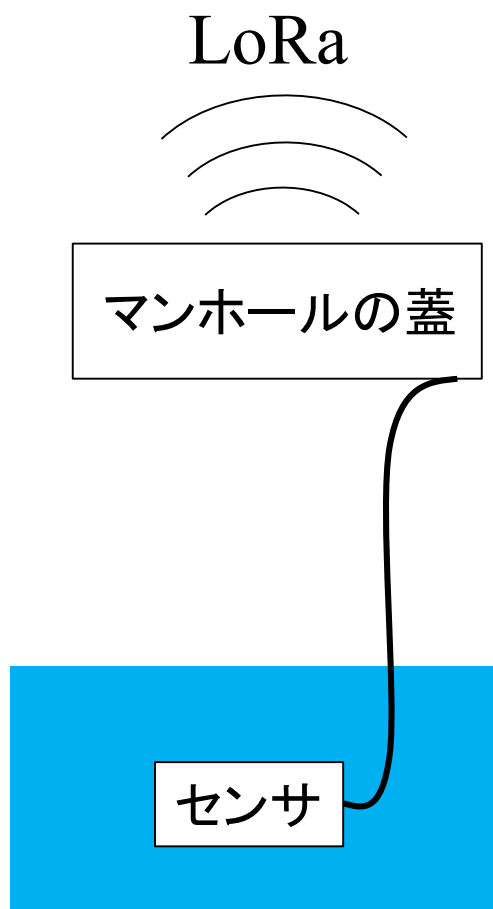
国土交通省 資料より

従来の水位計測技術



河川を想定したものが多い、価格、サイズ、腐食、汚損など
様々な課題が残る(コイン型電波式が有力?)

従来のマンホール向け水位計測技術



水圧式センサーと
LPWAの組み合わせが多い

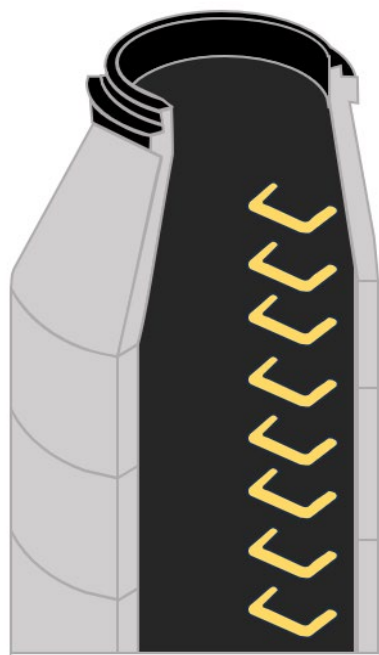
下水用マンホールは全国で
1500万箇所もあり、コスト
や点検の容易さ、安全性を
考慮することが重要

市場規模が大きい

S社、M社、H社など多くの会社がIoTマンホールを商品化、企画中

新技術の着眼点、発想

汚損や劣化の心配の少ない、かつ小型で安価な水位計測システムの開発
メンテナンスや交換の容易さから、マンホール上部への設置でできる水位計測



マンホール構造そのものに着目

- ・マンホールには金属製手すりが複数設置されている
マンホールの構造はフォーマットがあり、数パターン規格化、特性の安定性がある程度保証されると思われる
- ・複数ある手すりを八木アンテナのように見立てる
手すりがアンテナとして動作すれば、水位の変化によりエレメントの放射強度が変化し、水位が計測できるのでは？
反射特性(S11)でも測位可能？
- ・発展性
手すり構造は社会のいたるところにあり、マンホール以外でも応用可能であると考える

現在の研究開発進捗状況

エレメント(金属製タラップ)の水没時の電波強度の変動から水位変動を把握可能か検証(原理検証実験)

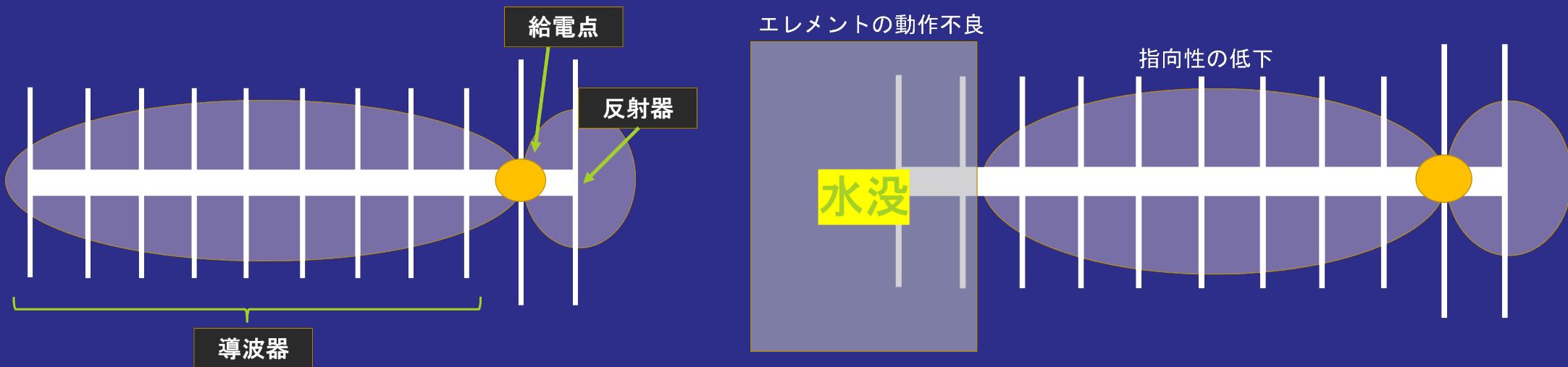
これまでに取り組んだ項目

- ・タラップアンテナの試作
- ・シールドルームにおける伝搬特性の測定
- ・HFSSによる電磁界シミュレーション

これからの研究項目

- ・実環境での評価、測定
- ・最適な周波数の模索
- ・より詳細なシミュレーション、原理究明

基本原理・アイデア

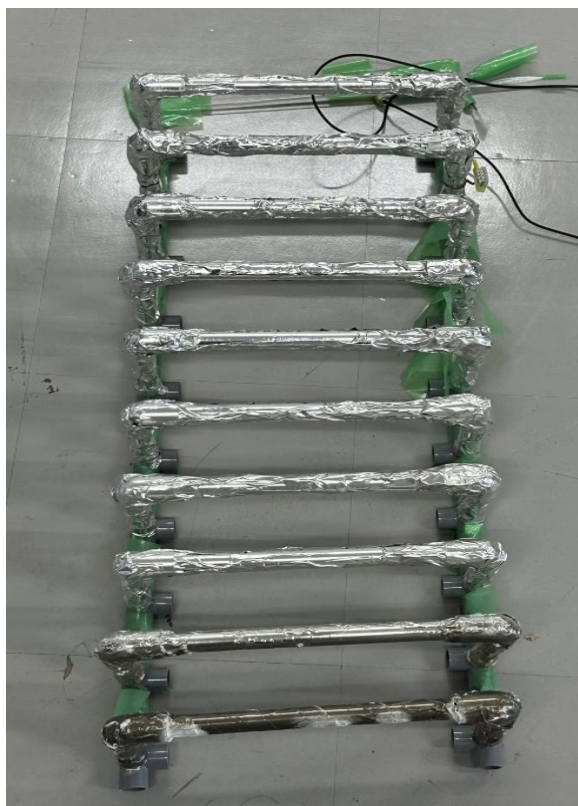
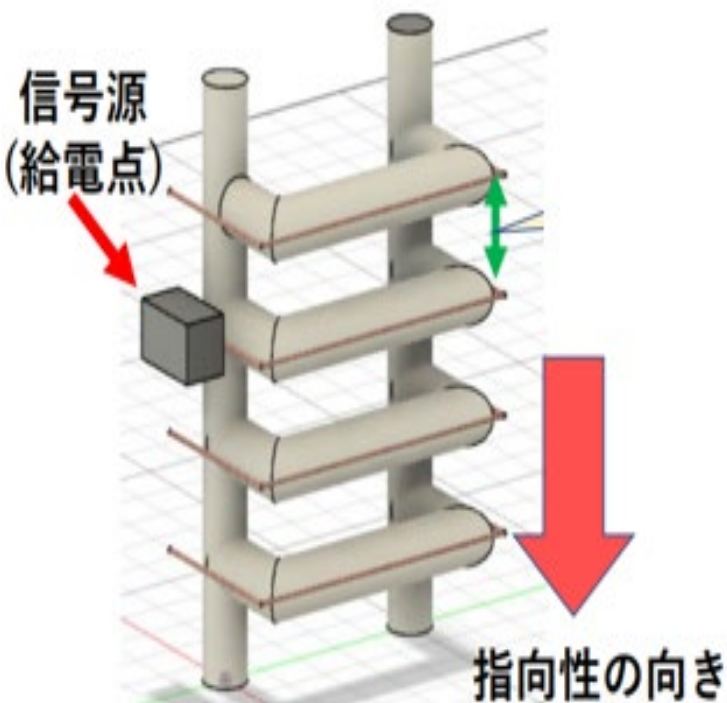


マンホールの手すりの上部に電波を供給

水中での高周波信号の伝搬損失(100dB/m@2.4GHz)によりエレメント数が仮想的に変化
放射パターンが変化

受信電力はエレメントからの放射電力と水面反射波電力の変化の影響を受ける
条件が複雑なため、実験と電磁界シミュレーションにより評価を実施

タラップ型アンテナの試作



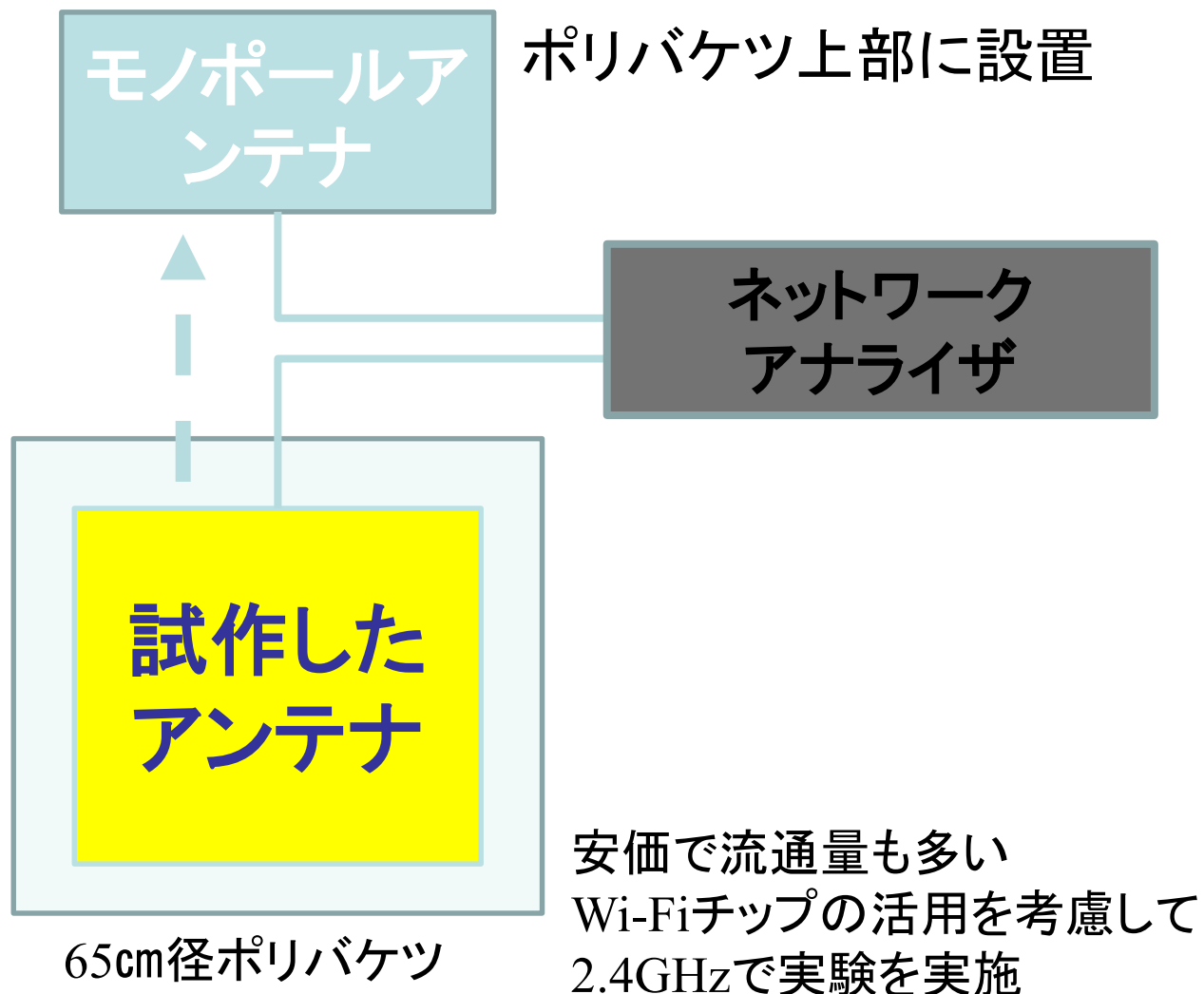
仕様

- 本体は塩ビパイプ製
- 手すり部分にアルミテープ
- 10エレメント
- 上部2番目手すりに給電点
- 実寸の半分程度のサイズで設計
(横幅15cm、奥行き7cm、
手すり間隔5cm)

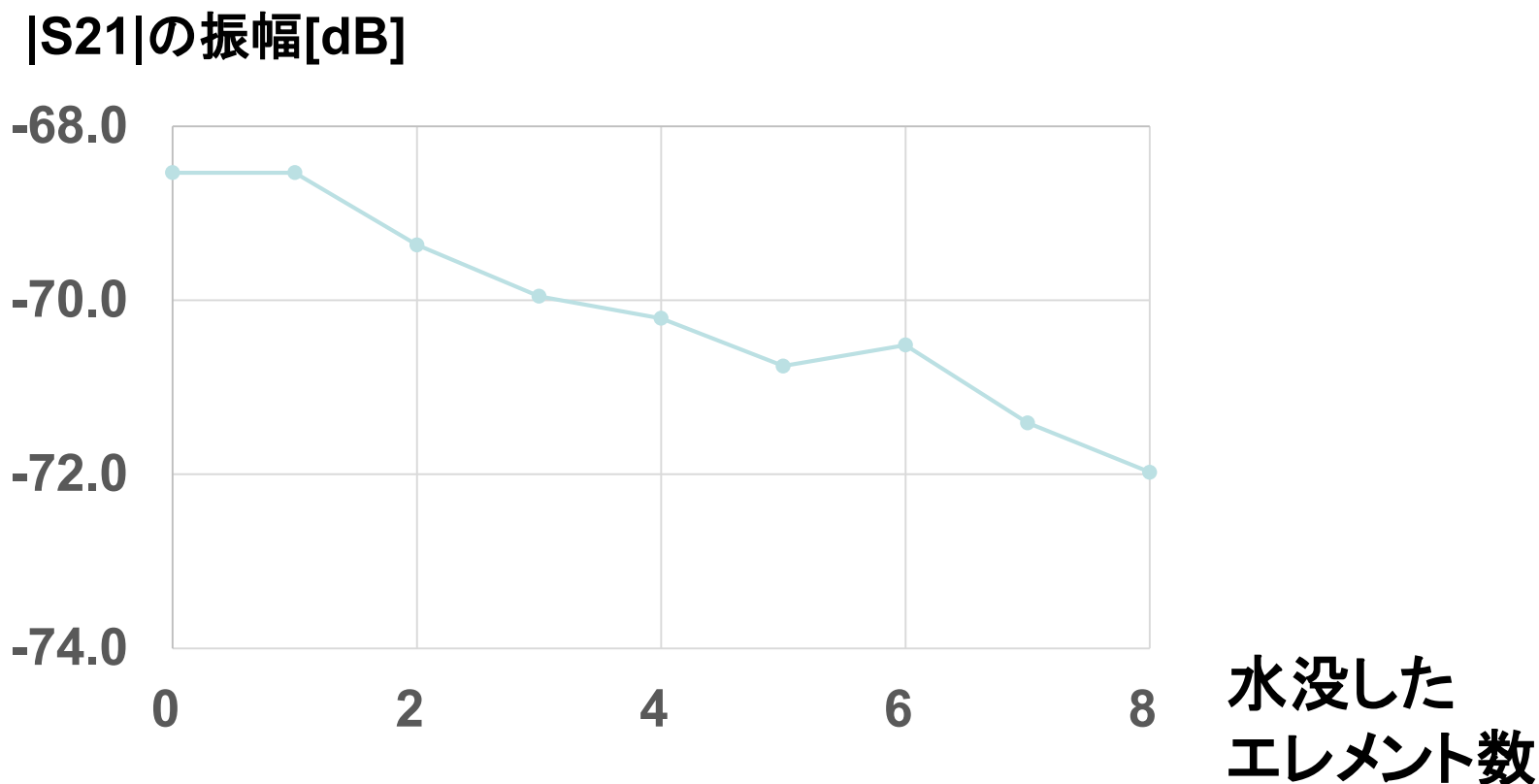
基礎実験での測定方法

実験条件・方法

- 給電点: 2エレメント目
- 周波数: 2.4GHz
- 水道水(純水とみなす)
- 注水・脱水しつつエレメントが水没、露出したタイミングで透過係数 $|S_{21}|$ パラメータを測定
- 上記測定を50回繰り返し平均値を算出

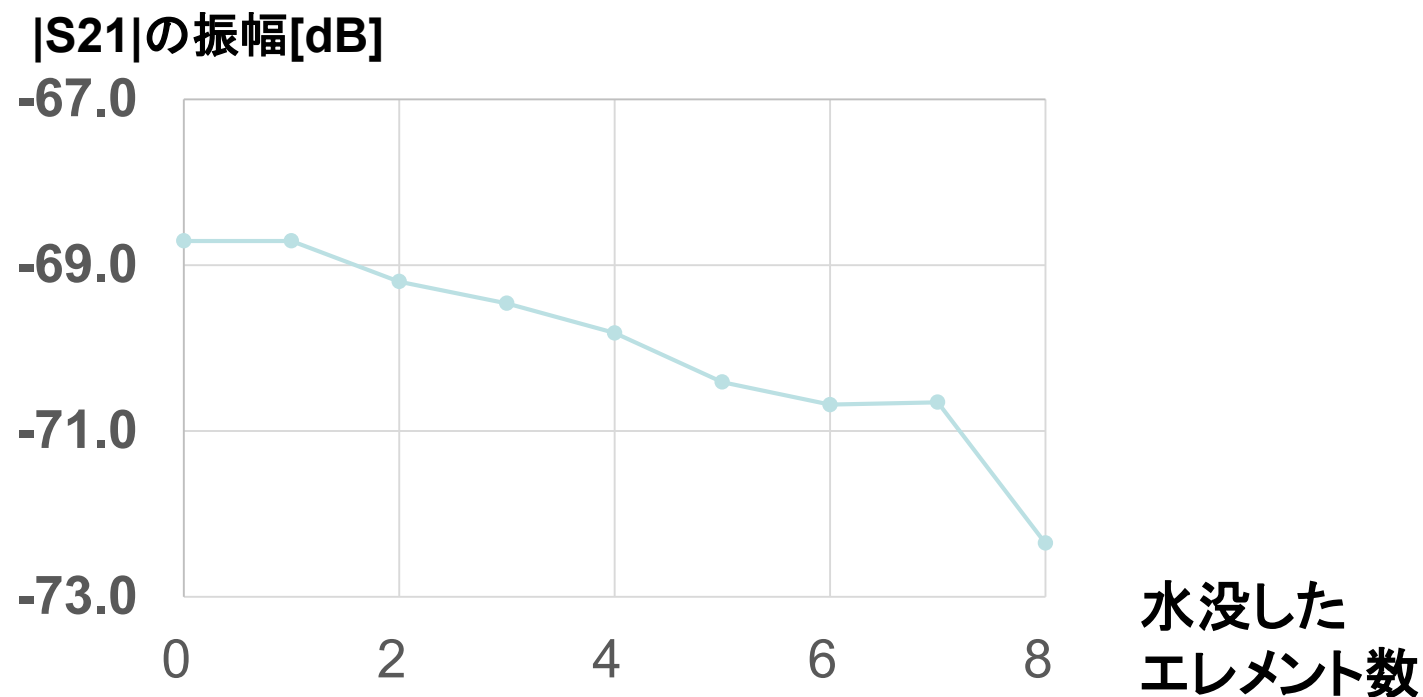


注水時の伝搬特性の測定結果



露出エレメント数の減少とともに、受信電力が低下
水面での電波の反射の影響<放射パターンの変化の影響 と思われる

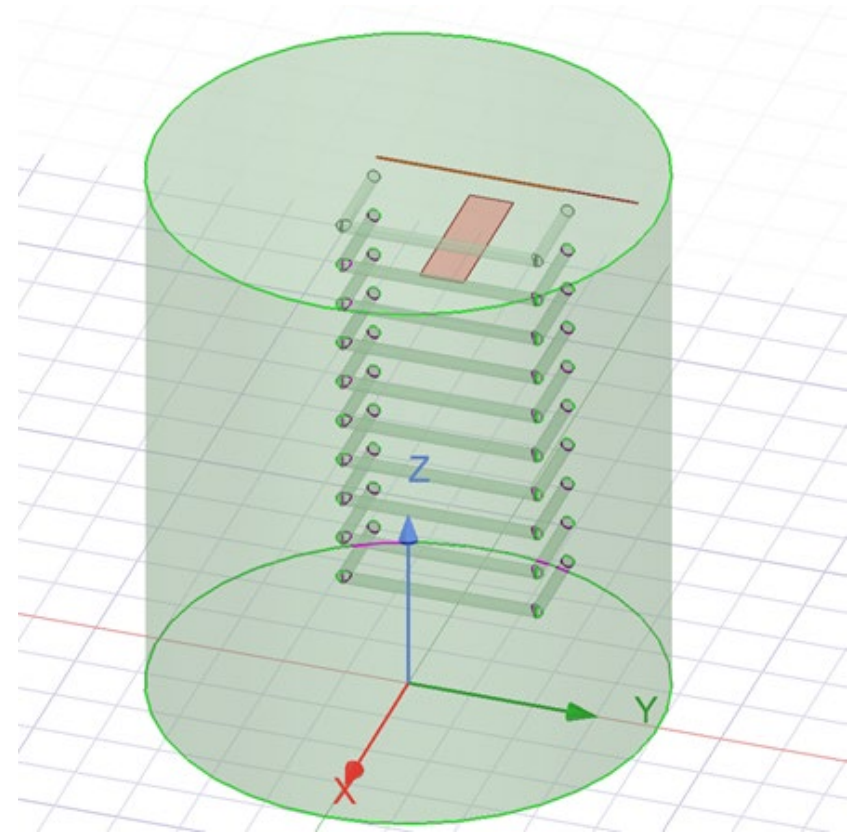
脱水時の伝搬特性の測定結果



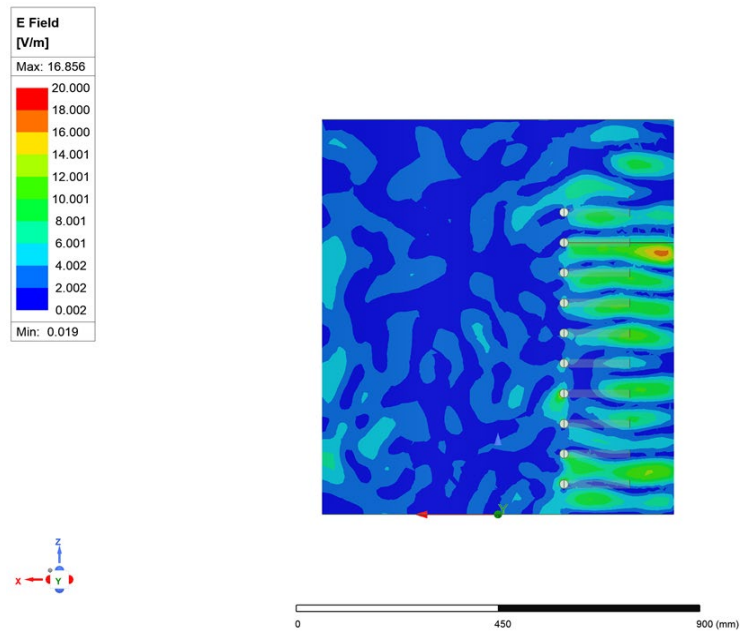
注水時とほぼ同様の特性になっていると思われる

電磁界シミュレーションの概要

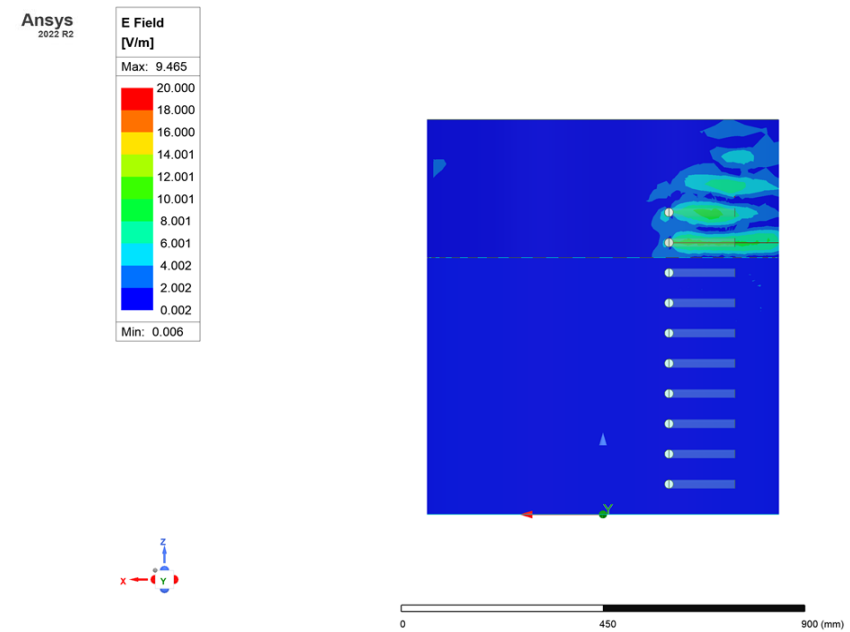
解析方法	有限要素法(HFSS)
境界条件(床面・側面)	グラウンド
境界条件(上面)	放射
タラップアンテナの給電点	側面(グラウンド)と平板で結合
受信アンテナ	モノポールアンテナ
解析マシンのプロセッサ	Intel(R)Core(TM)i9-10940X CPU@
解析マシンのRAM	128GB



電磁界シミュレーションの結果：電界分布

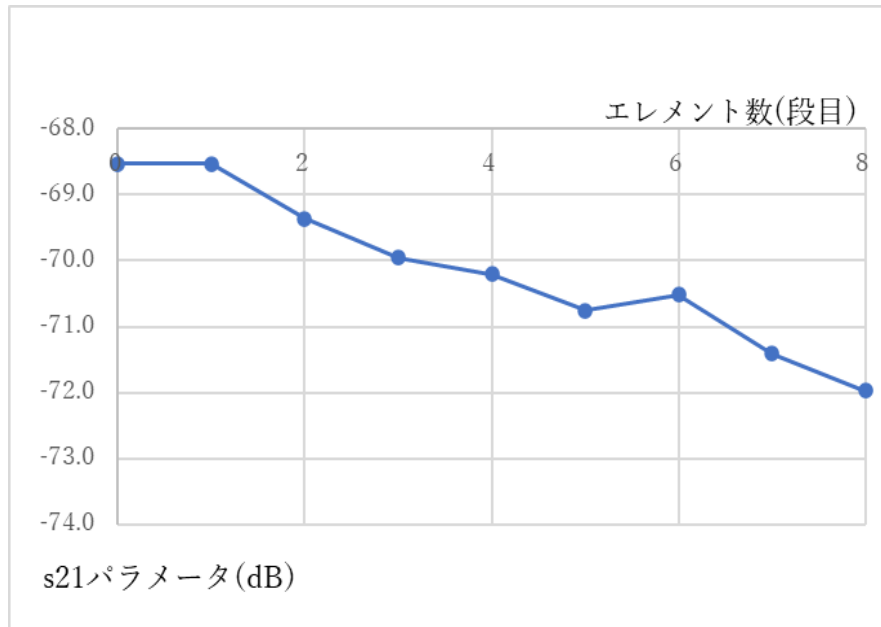


水位が低い(ゼロ)の時

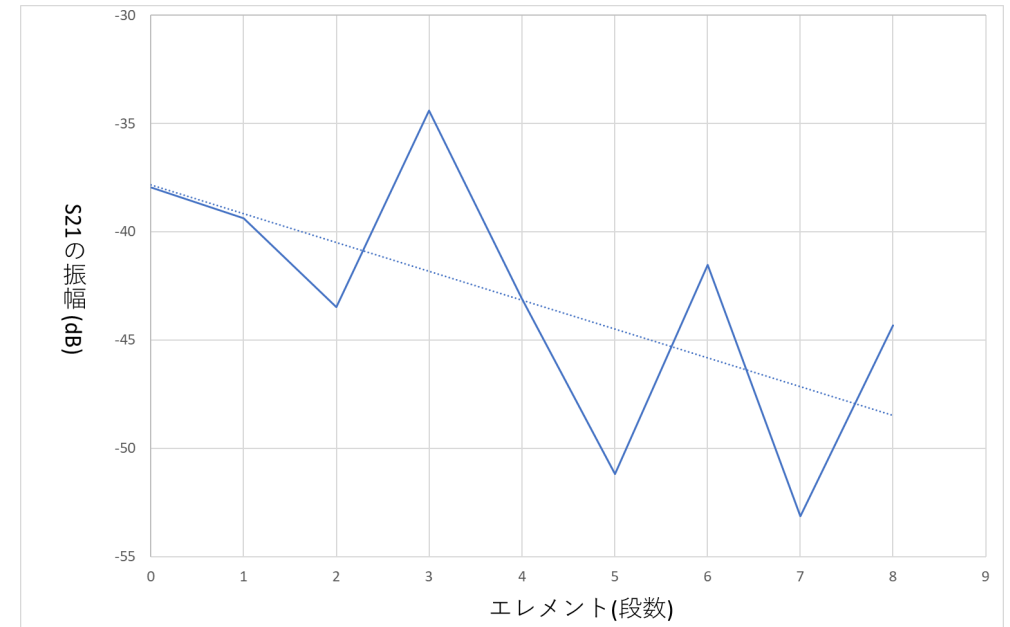


水位が高い時

結果の比較



実験結果



シミュレーション評価

いずれも右下がりの特性を示しているが、シミュレーション結果が不安定
解析空間が大きすぎてPCの性能の限界、分解能が低い、
グラウンドの設定など要因が多く、検証にしばらくの時間を要する。

実用化に向けた課題、企業への期待

- 現在、電波暗室およびシミュレーションによる原理確認を行った段階。
- 今後、実環境でのデータ取得や、より詳細なシミュレーション、および最適な周波数などパラメータを調整する必要がある。
- 実験機材は保有しているので、実験環境の提供や交通費などの支援を期待する。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：水位検出システム及び水位検出方法
- 出願番号：特願2023-24890
- 出願人：学校法人常翔学園
- 発明者：熊本和夫、川上雅士、宮田祈

お問い合わせ先

大阪工業大学

学長室 研究支援社会連携推進課

T E L 06-6954-4140

e-mail oit.kenkyu@josho.ac.jp