

設備や建設物の経年劣化事故を 防止するボルト緩み検出装置

【TenSense】

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科
情報・知能工学専攻

准教授 大村 廉

新技術の概要

- 部材の締結等に用いられているボルトの締結力を遠隔からモニタリングする装置を開発した。
- 【簡便性】：従来技術では、ボルトに加工が必要、外部に無線装置の設置や電源の設置が必要などの問題があったが、本技術ではこれを一つのデバイスとしてまとめ、従来のボルト（座金）下に挿入するのみで計測可能である。
- 【メンテナンス性】：1日に10回程度送信したとしても5年以上、1日2回の場合は10年以上の動作を見込む事ができる。



想定される用途

- 橋梁などの構造物、風車等の設備、製造機械、車両などにおいて、ボルトの緩みや中折れが原因で事故や破損など重大な損失に繋がる対象物の安全確保、点検コストの低減などが期待できる。



2012年 笹子トンネル
天井板落下事故

(写真:(株)時事通信社ニュース記事より)



2002年三菱自動車
タイヤ(ホイール)脱落事故

(写真:朝日新聞デジタル記事より)



2019年(青森)
小型風力発電設備
ナセル落下事故

(写真:東奥日報社ニュース記事より)

従来技術とその問題点

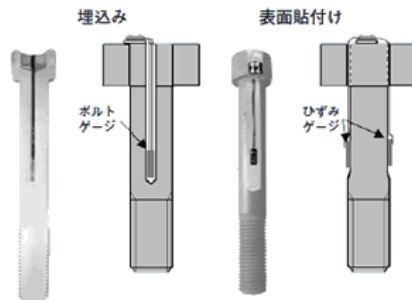
- 法定点検（5年に一度義務付け）
 - 目視・打音検査
 - 熟練者の「感覚」による
 - 高所など点検困難な場所に有る場合
 - 足場設置等による高コスト化



Smartbolts

(<http://www.smartbolts.com/>)

- 従来のボルトセンシング技術



Load Sensing with
Embedded Strain Gauge

((株)東京計測研究所
ホームページより)



Ultrasonic

((株)NDTアドヴァンス
ホームページより)



Force Washers

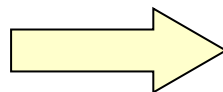
((株)東陽テクニカ
ホームページより)

ボルトへの加工，外付け装置が必要

- 締結力データを遠隔通信する簡便なシステムが必要

従来技術

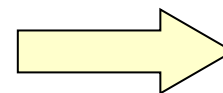
- 目視・打音による検査
(熟練作業員が必要)



新技術

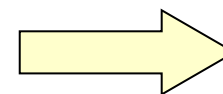
- 遠隔から送られるデータ
によって確認
⇒ 定量的な監視

- ボルトへの加工が必要



- ボルトへの加工不要
座金下に挿入するのみ

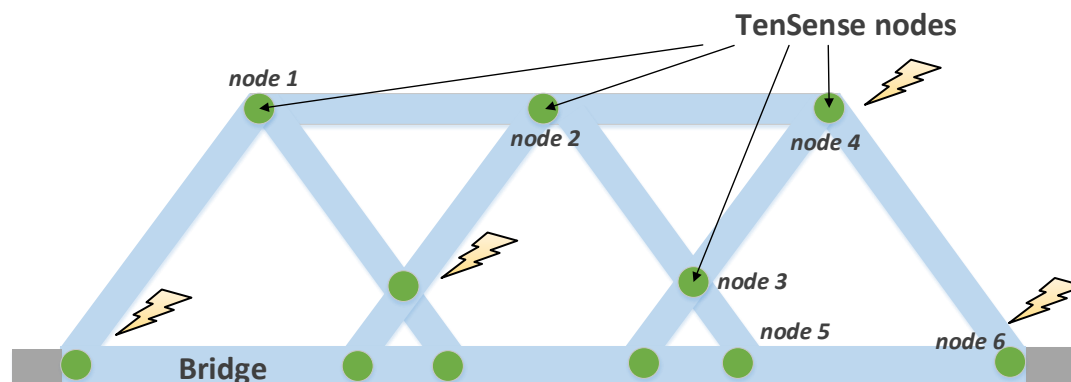
- 外付け装置や電源の
確保が必要



- 外付け装置不要、電源内蔵
- 1日10回の送信で5年、
1日2回で10年以上の
動作見込み

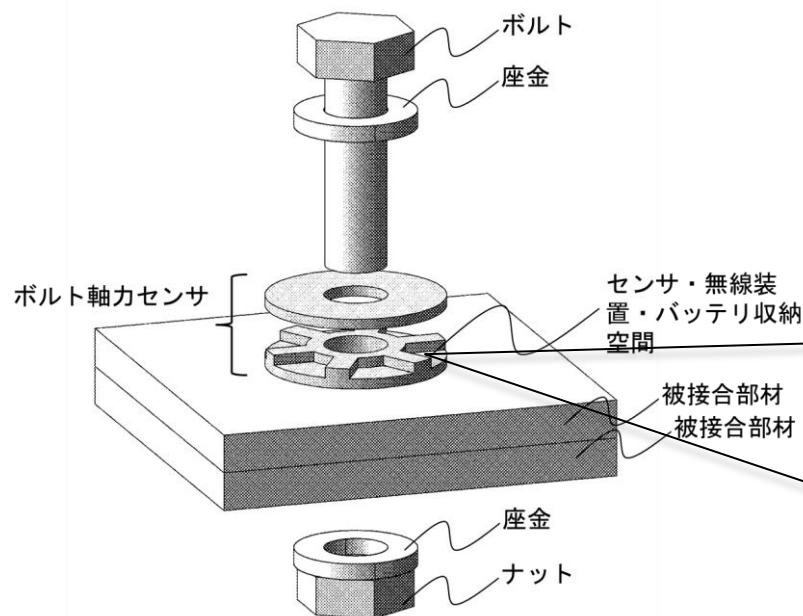
新技術の内容：設計指針

- 緩みだけでなく，切断・破断なども検知
- ボルトへの加工を行わない
 - ボルト自体の耐久性を損ないようにする
- 遠隔からの監視
 - 数百m～数kmの通信距離
- 簡単な設置
 - ボルトとワッシャーの下に挿入するのみ（後付け可能）
- 目標動作期間：5年以上



新技術の内容：アプローチ

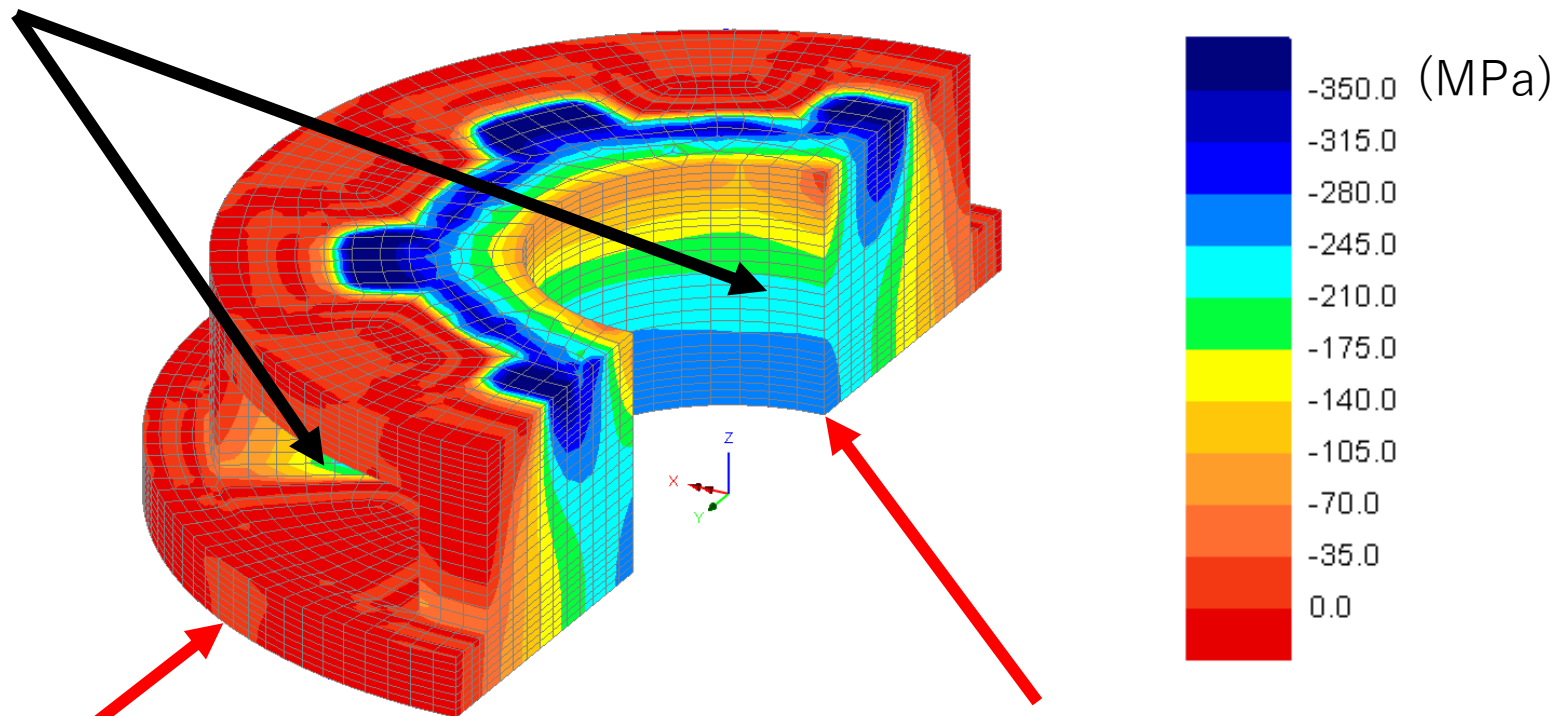
- 既存のワッシャー下に独自のワッシャー（TenSense Washer）を加え，そのワッシャーにかかる力を測定
→ ボルトへの加工不要
- ワッシャー内に空間を作成し，センサ（歪みゲージ），マイコン（無線）モジュール，電池を挿入
→ 外付け装置不要、電源内蔵



TenSense washer

内壁まで圧力を伝達している
(歪みが発生させて「かかる力」
が測定可能である)
ことを確認

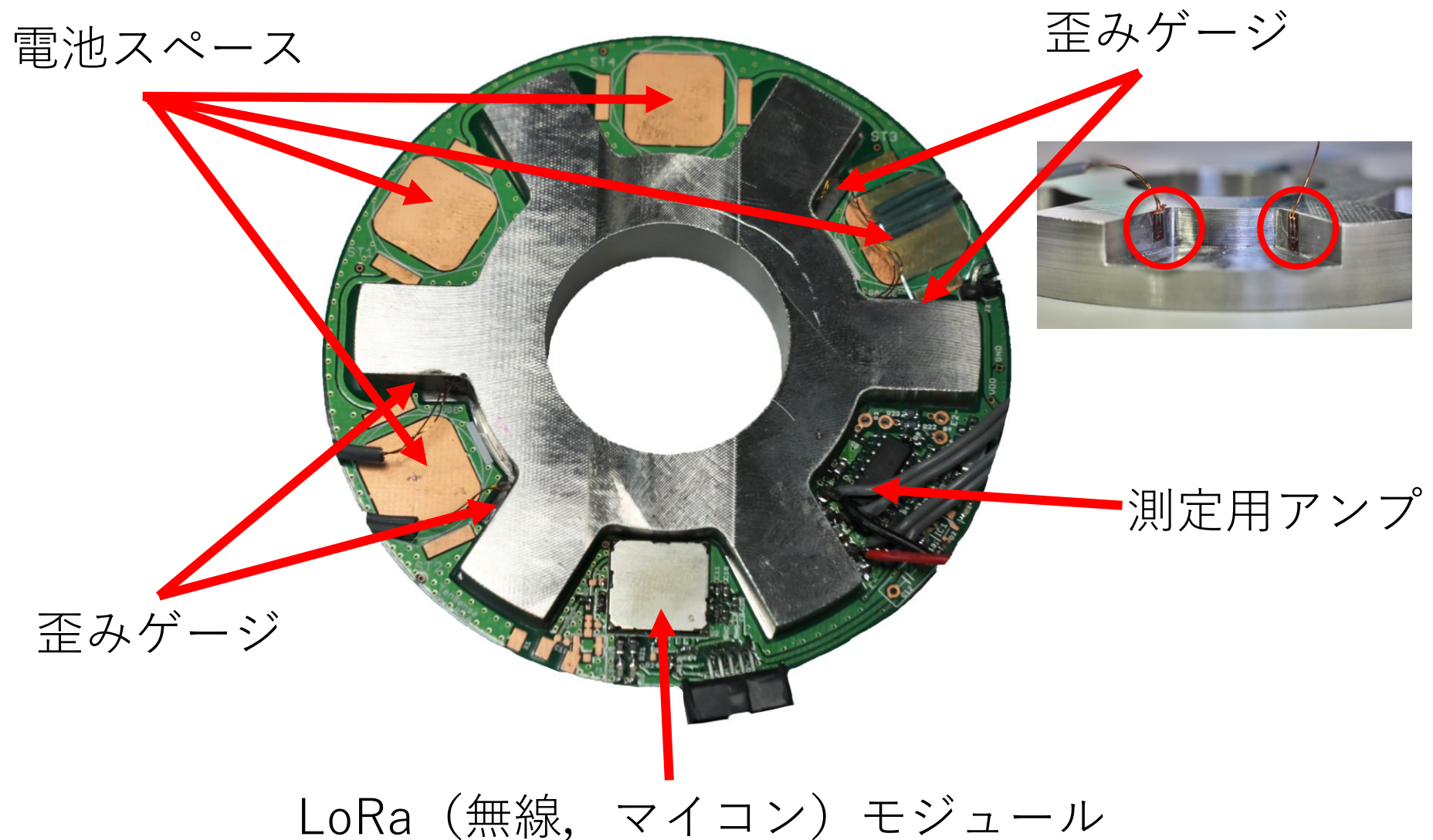
上部から圧力を印可



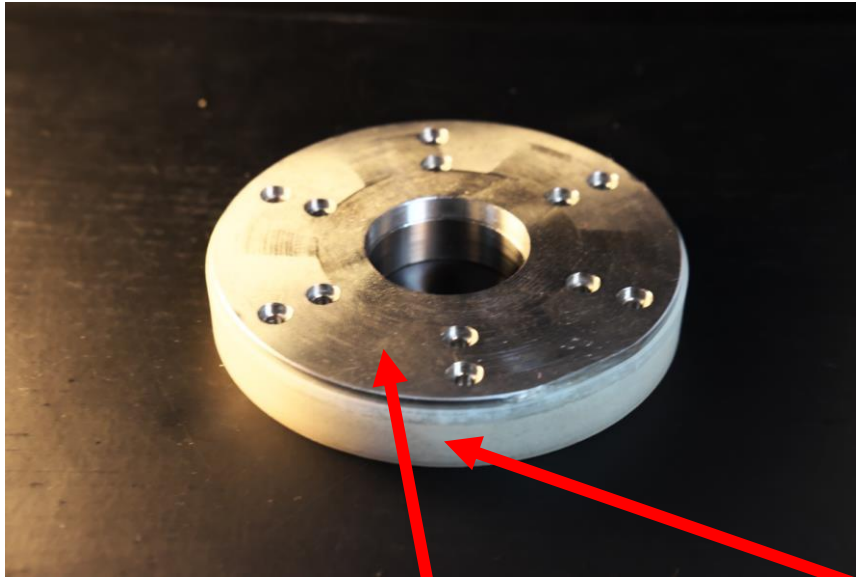
TenSenseワッシャー

構造物まで圧力が伝達している
(締結力の伝達が阻害されない)
ことを確認

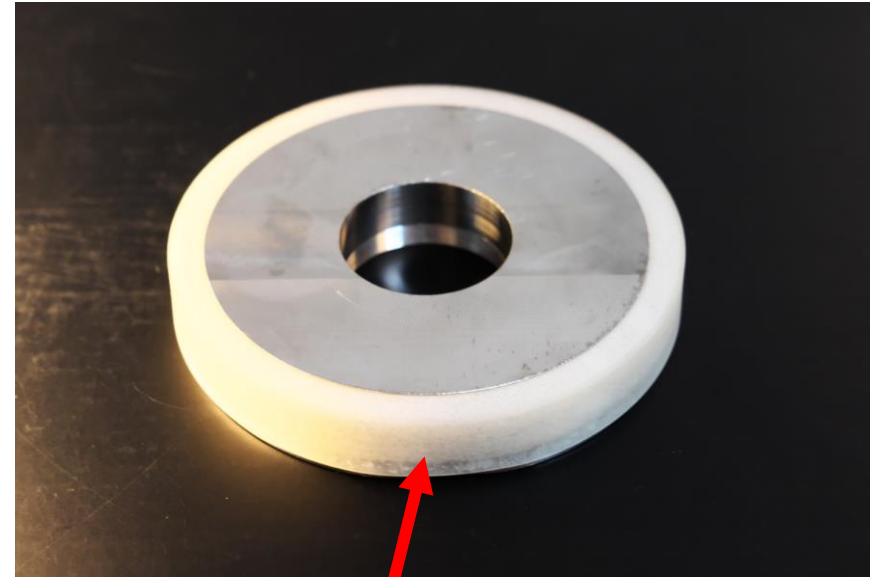
新技術の内容：内部基板



新技術の内容：カバーを付けた状態



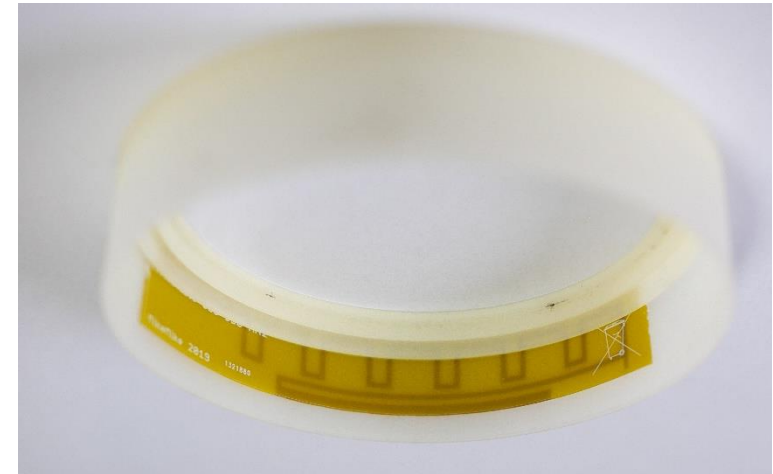
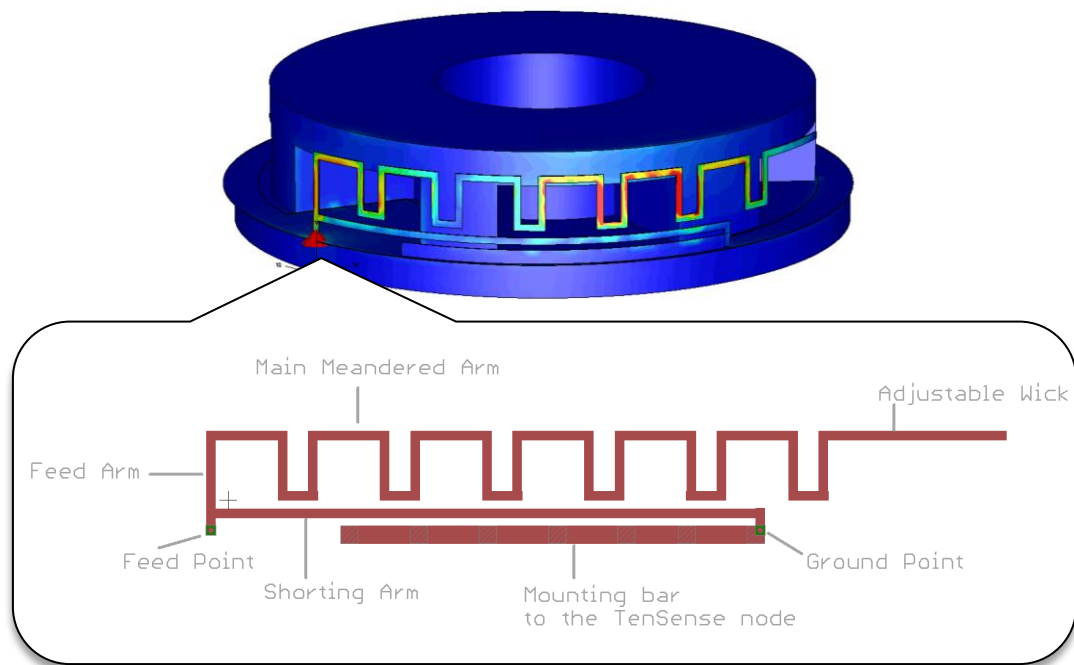
裏面カバー



サイドカバー（樹脂）

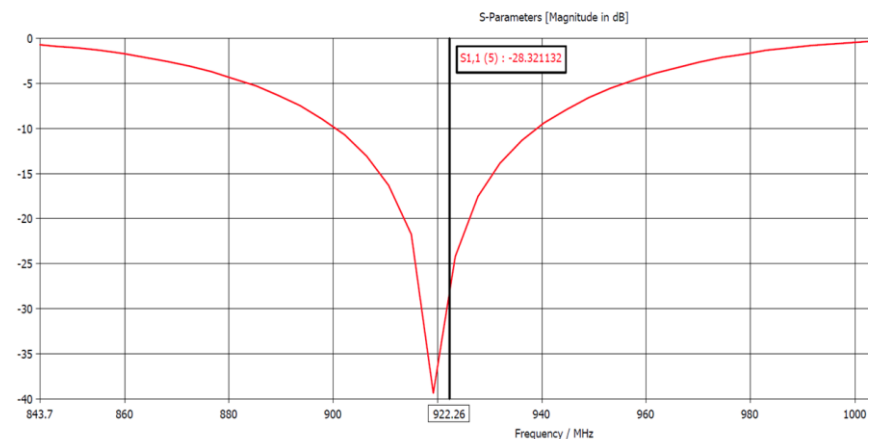
- 耐候性樹脂を使用予定
- 防水性を確保

新技術の内容：アンテナ



フレキシブルPCBで作成し、
側面に貼付け

Parameter	Required Specification	Implementation
Bandwidth	> 30MHz	40 MHz
Impedance	50 Ω	50 Ω
Frequency	923.8 MHz	920 MHz



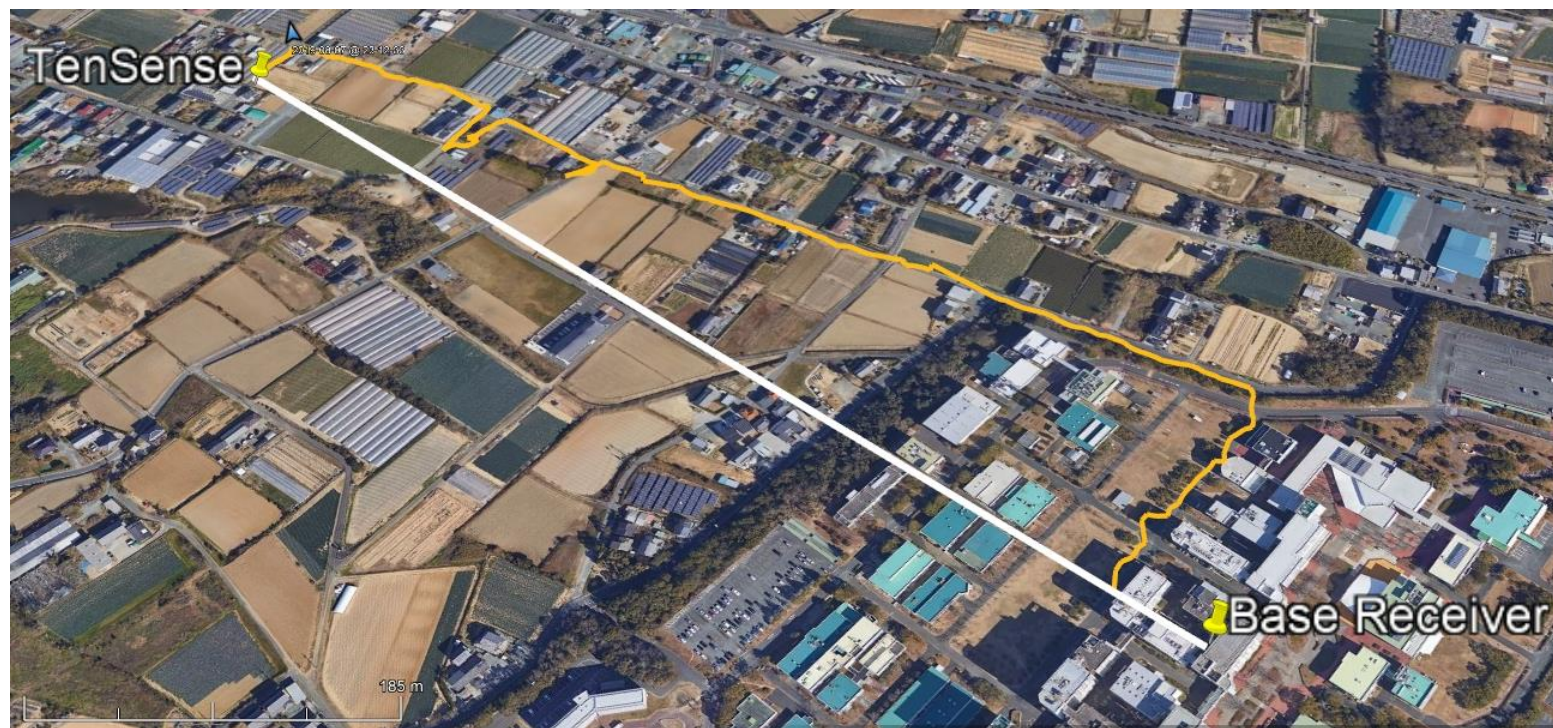
- SF※ 7

※Spreading Factor
SF7：-123dBmの受信感度,
242byteのペイロード

Cf.) CF10: -132dBmの感度,
11byteのペイロード

- ベースステーション
は大学屋内に設置

- 約800メートルの通
信を確認



新技術の内容：電池動作可能時間

待機(Sleep)モード，測定(On)モード，送信(Tx)モードの合計で見積もり

※ただし，測定モードは1秒，送信モードは100msとする

<各ハードウェア消費電流>

Specification	ICs		
	Murata LoRaWAN module		HX711
	STM32L082	SX1276	
On Mode	3.2 mA @ 16 MHz	1.6 mA	1.5 mA
Sleep mode	0.86 uA	0.2 uA	0 uA (power gated)
TX mode	128 mA@20dBm		NA

< 1日当たりの消費電流>

待機モード： $I_{sleep} = 0.0254 \text{ mA}$

測定モード： $I_{ON} = 0.00175 \text{ mA} \times \text{送信回数}$

送信モード： $I_{TX} = 0.036 \text{ mA} \times \text{送信回数}$

1日当たりの消費電流

$I_{daily} = 0.0254 \text{ mA} + 0.378 \text{ mA} \times \text{送信回数}$

1年当たりの消費電流

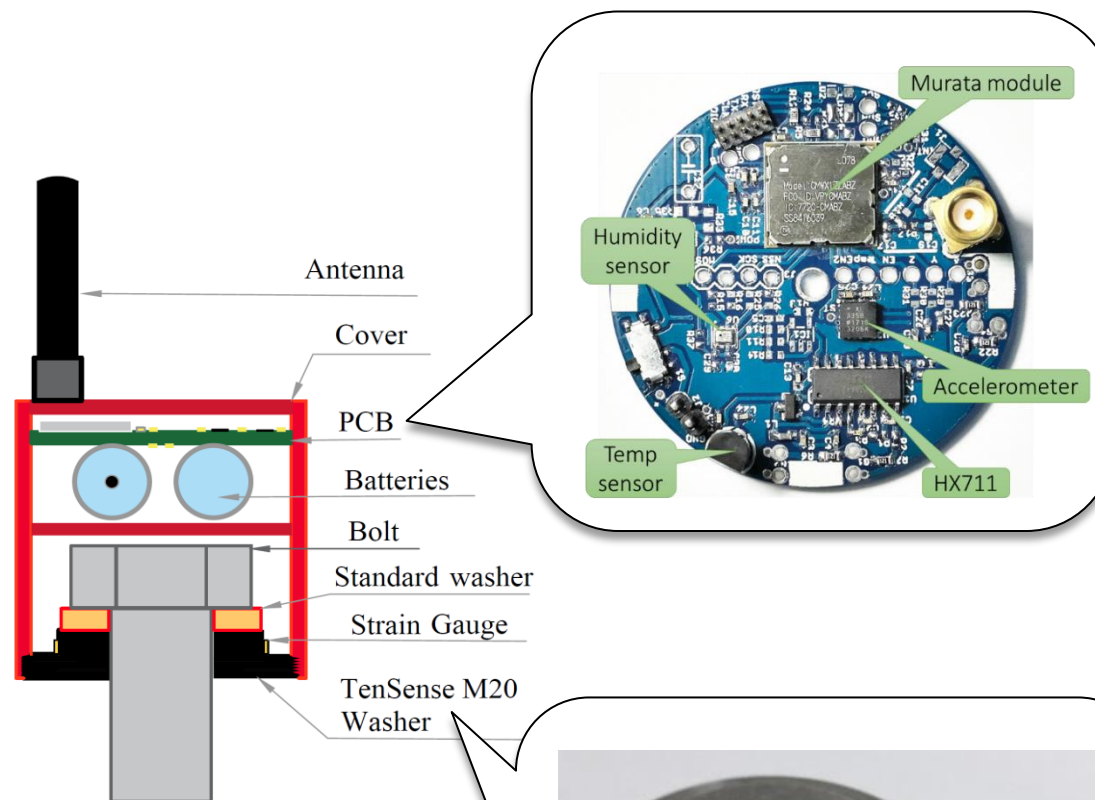
$I_{yearly} = I_{daily} \times 365$

CR1620コイン電池（1個あたり）= 75mAh

4つ使用し，有効効率を50%とすると，

1日に10回程度送信したとしても5年以上の動作見込み
(1日2回の場合，10年以上)

新技術の内容：中型ボルト径への展開



アプローチ：
ワッシャー内にはセンサのみとし、回路はキャップに組み込む



キャップ内に収まるアンテナを設計中

実用化に向けた課題

- 現在、M30ボルトを対象としたデバイスは開発済みであり、実証実験中。
- 対象となるボルトを広げるため、M20程度のボルトを対象として同機能を実現する機構を開発中。
- 今後、実験データを取得し、ボルトの緩みの過程の解析や予測方法の開発を行なう予定。
- 実用化に向けて、管理ツールの開発を行なう必要があると考えている。また、製造コストの低減を目指したい。

企業への期待

- TenSenseの製造関連技術を持つ企業との共同研究を希望。（特にコスト削減技術に関する研究を希望）
- また、本技術の応用展開先を共同で開拓する企業を募集したい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 締着力検出装置
 - 出願番号 : 特開2019-132841
 - 出願人 : 豊橋技術科学大学、トーヨーメタル株式会社
 - 発明者 : 松本幸大、大村廉、大久保敦之
-
- 発明の名称 : 締結強度検出装置における無線電波送信装置
 - 出願番号 : 特願2020-074682
 - 出願人 : 豊橋技術科学大学、トーヨーメタル株式会社
 - 発明者 : 松本幸大、大村廉、ミハイル シドロフ、大久保敦之

お問合せ先：研究推進アドミニストレーションセンター

Phone: 0532 - 44 - 6975

FAX: 0532 - 44 - 6980

E-mail: tut-sangaku@rac.tut.ac.jp 担当: 白川正知