超広帯域通信ICタグと3次元モデルを用いた情報施工管理システム

大阪大学　大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻　教授

矢吹　信喜

目次

1. 背景・目的
2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験
3. アンテナ配置最適化システム
4. 3次元表示システム
5. 自動警報システム
6. まとめ

2

研究背景（1/3）　1. 背景・目的

情報化施工

建設生産プロセスのうち「施工」に注目し, ICT（Information and Communication Technology）の活用により高効率・高精度な施工の実現や施工で得られる電子情報の他のプロセスへの活用などを行う.

例）✓ TS (Total　Station) 出来高管理

✓ マシンコントロール（MC）/マシンガイダンス（MG）

✓ GNSSを利用した測位技術

- TS出来高管理：作業の自動化・効率化を図る.
- GNSS：衛星からの信号を受信し測位を行う.
- MC/MG：リアルタイムに自動制御し施工を行う. /重機の操作をサポートする.

3

研究背景（2/3）　1. 背景・目的

GNSSの欠点

- 閉鎖された空間において利用できない.
- RTK-GPSを用いて, 高精度な測位ができるが, 非常に高価で大きな機材が必要である.
- 通常のGPSを用いた測位では大きな誤差が発生する.

CIM(Construction Information Modeling)の導入

- 3次元モデルの作成とライフサイクルを通じての活用によって, 生産性, 品質, 安全性の向上を目指す.
- 3次元モデルの活用により, 従来のように文書や写真記録を残す手法からより効率的に施工を行うことができるようになると考えられる.

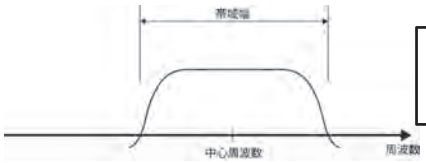
閉鎖空間においても一定以上の精度で測位を行うことのできる技術と3次元モデルを組み合わせることにより, 施工プロセスの生産性や安全性を向上させることができると考えられる.

4

UWB

- 今までのICタグは，動くものの位置情報を得ることができない．
- しかし，UWB周辺に3個以上のアンテナを設置． cm級の比較的高精度の測位を屋内でもリアルタイムに行うことが期待できる．
- ICタグには個体識別情報が付加され，物の位置，動きなどを把握することができるようになる．

FCC（Federal Communications Commission）による定義



帯域幅500Mhz以上
または
帯域幅の中心周波数に対する比が20%以上

- 米国：3.1~10.6GHzの範囲で-41.3dBm/MHz以下の出力に制限されている．利用に免許は不要，屋外での利用も可能．
- 日本：3.4~4.8GHzでは-41.3dBm/MHz以下，4.8~10.25GHzでは-70dBm/MHz以下の出力に制限されている．利用には総務省に実験局の申請 及び陸上特殊無線技士3級の免許が必要，屋外利用も不可．また，UWBを利用する商品が少なく，高価，建設分野での研究が極めて少ない

5

- UWB-ICタグを活用したシステムを開発するにあたり，UWB-ICタグを用いた屋内測位の精度に関する基礎的な実験を行う．
- また，UWBの送受信を行うアンテナを現場に設置する必要があるが，どの場所からも最低3つ（三次元環境では4つ）のアンテナが電波を受信できるようにアンテナを設置する必要があるので，アンテナの設置場所の最適化を行うアルゴリズムの開発を行う．
- 建設作業員のヘルメットやバックホウ，ダンプトラック等の建設機械にUWB-ICタグを取り付けることを想定し，これら測位対象の3次元モデルをCADソフトを用いて作成し，各UWB-ICタグの位置をモデル上に表示するプログラムを作成し，遠隔の事務所で施工や安全の管理が行えるシステムを構築する．

6

既往研究

- Ali Motamedi, Mohammad Mostafa Soltani, Amin Hammad : Localization of RFID-equipped assets during the operation phase of facilities, Advanced Engineering Informatics, Volume 27 Issue 4, pp.566–579, 2013
  - RFIDによる位置情報推定とBIMデータを結びつけることで施設管理を行う手法の開発
- C.Zhang, A.Hammand, M.ASCE, S.Rodriguez : Crane Pose Estimation Using UWB Real-Time Location System, J. Comput. Civ. Eng. , 26, pp.625-637, 2012
  - クレーンのアームにUWB-ICタグを取り付けリアルタイムに位置情報を取得し, 効率的なクレーン操作を計算するシステムの開発.
- Tao Cheng, Jochen Teizer, Giovanni C.Migliaccio, Umberto C.Gatti : Automated task-level activity analysis through fusion of real time location sensors and worker's thoracic posture data, Automation in Construction, Vol.29, pp.24-39, 2013
  - UWB-ICタグを通じて得られる情報を基に, 建設プロセスの分析を行う手法の開発.

7

実験概要

- UWB-ICタグを用いた屋内測位を実際に行い, その精度を調査する.
- 測位は様々な条件下で行う.

使用機器

UWBアクティブタグ

UWB-ICタグ（W27.8×H56.5×D15.2mm）

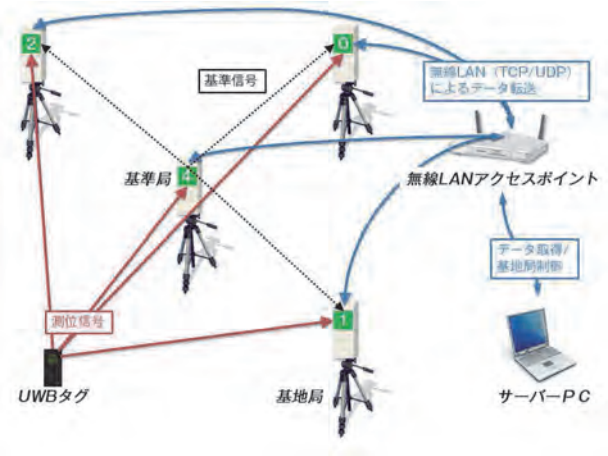
ハードウェア仕様

外形寸法	基盤本体	25×51×0.9mm
	筐体格納時	W27.8×H56.5×D15.2mm
重量	基盤本体	4g
	筐体格納時	19g
使用環境条件		0~50℃, 30~80%RH, 結露なきこと
データ送信間隔		125ms
電源		リチウム2次電池（180mAh）
充電方式		DC：5V / 1.0A, DCジャック（EIA#1）
連続駆動時間		16時間

8

使用システム

UWB-ICタグから発信される測位信号と，基準局から発信される基準信号が各基地局において受信され，その到着時間の差によって各基地局からUWB-ICタグまでの距離とUWB-ICタグの相対的な位置を求める.



○測位システム仕様
（取扱説明書より作成）

通信距離：30m
通信システム：
Impulse radio UWB
周波数帯域：3.4～4.8GHz
通信レート：250kbps
測位方式：TDOA（Time Difference of Arrival）方式

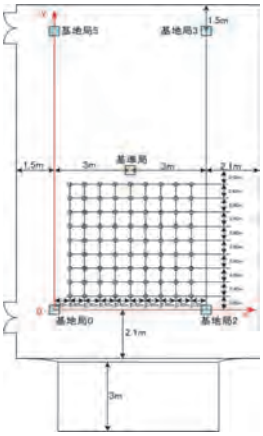
ユーシーテクノロジ株式会社, UWB測位システム取り扱い説明書, 2013 より引用

実験内容

- 静的精度実験
- 静的アンテナ指向性実験
- 静的遮蔽影響評価実験
- 静的貼り付け影響評価実験
- 水平方向動的精度実験
- 鉛直方向動的精度実験

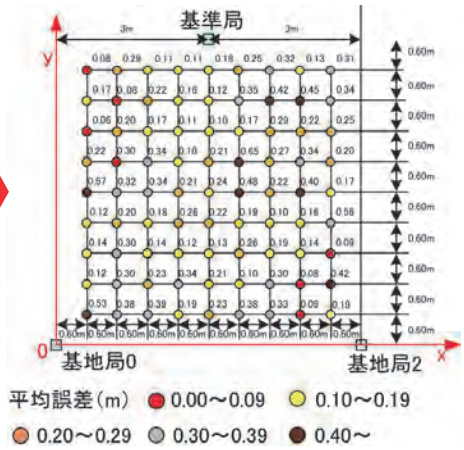
静的精度実験(1/2)

- 実験場所:大阪大学吹田キャンパスS4-111講義室
- 使用機材:基地局4台, 基準局1台, ICタグ1台
- 実験方法:基地局及び基準局を固定した状態で, 各点にICタグを設置して測位を行った.



配置図

実験結果



静的精度実験(2/2)

実験結果

	誤差
平均	0.24m
最大	0.65m
最小	0.06m
標準偏差	0.13m

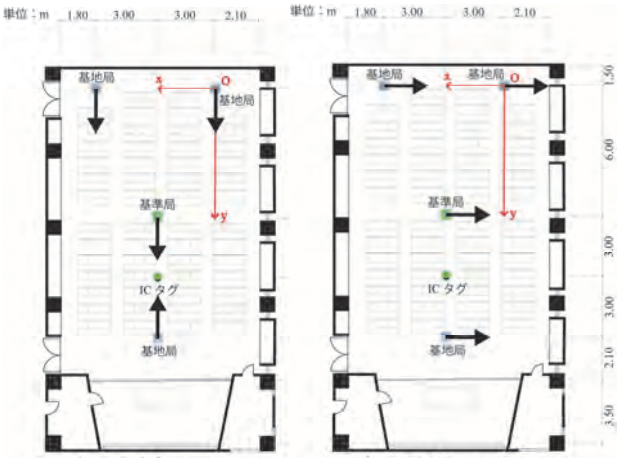
誤差計算値

誤差	計測された点の数	割合(N=81)
0.40m～	7	9.9%
0.30～0.39m	17	21.%
0.20～0.29m	19	23.4%
0.10～0.19m	30	37.1%
0.00～0.09m	7	8.6%

誤差の大きさごとの計測された点の数

静的アンテナ指向性実験　　2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験

- 実験場所：大阪大学吹田キャンパスS4-111講義室
- 使用機材：基地局3台，基準局1台，ICタグ1台
- 実験方法：基地局，基準局及びICタグの位置を固定した状態で，基地局のアンテナの向きを変えながら測位を行い，その誤差を計測した．



最小誤差：0.09m　最大誤差：0.32m

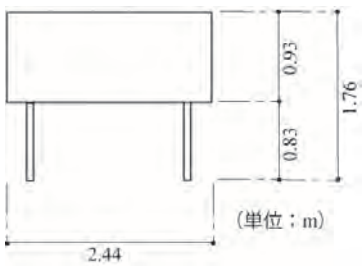
- アンテナの向きによって測位精度に影響が表れることが確認された．

13

静的遮蔽影響評価実験（ホワイトボード）（1/2）　　2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験

- 実験場所：大阪大学吹田キャンパスS4-111講義室
- 使用機材：基地局3台，基準局1台，ICタグ1台
- 実験方法：基地局及び基準局を固定，基地局とICタグの間の点Aに遮蔽物（金属製ホワイトボード）の中央を置いた状態で，ICタグと遮蔽物の間の距離を30cmずつ変化させながら測位を行った．

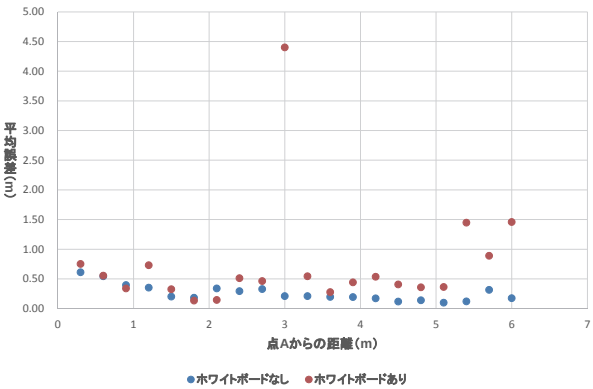
配置図



ホワイトボード寸法

14

実験結果



遮蔽影響実験結果（ホワイトボードの有無による比較）

全20点における測位結果

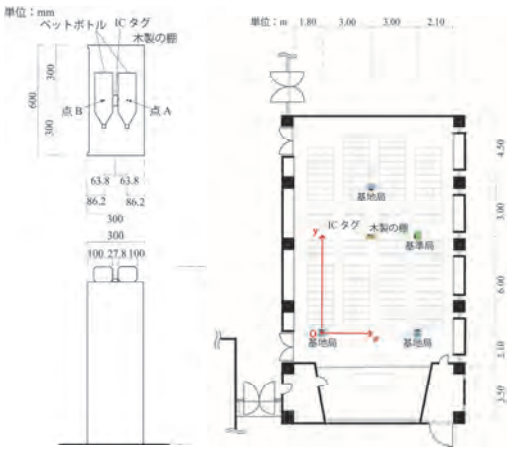
平均	0.26
最大	0.61
最小	0.10

ホワイトボードがない場合

平均	0.56
最大	1.46
最小	0.13

ホワイトボードがある場合
（誤差4.40mの点を除く）

水を入れたペットボトルで基地局とICタグの間を遮蔽した状態で測位を行い誤差を計測した.



配置図

実験結果

ペットボトルの数		
点A	点B	測位可能かどうか
1	0	可
1	1	可
2	1	可
2	2	不可
3	2	不可
3	3	不可

水の層によってUWBが遮蔽されることが確認された.

静的遮蔽影響評価実験（水を含んだ雑巾）　2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験

- 水で濡らした雑巾で基地局とICタグの間を遮蔽した状態でも同様に測位を行い，誤差を計測した．
- ICタグを証明用スタンドに取り付け，ビニール袋を被せた上から雑巾を被せ，輪ゴムで絞めた．

配置図

実験結果

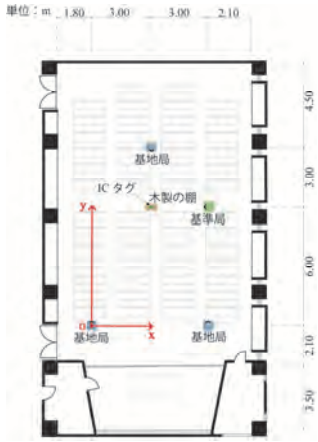
	平均誤差
ビニール袋のみ	0.17m
乾燥した雑巾1枚	0.11m
濡らした雑巾1枚	0.15m
濡らした雑巾2枚	0.41m
濡らした雑巾3枚	0.29m

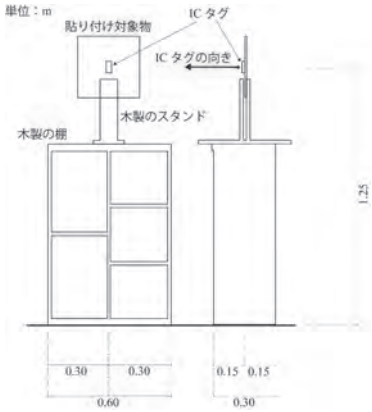
測位精度に与えるはっきりした影響は確認されなかった．

17

静的貼り付け影響評価実験（1/2）　2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験

- 実験場所：大阪大学吹田キャンパスS4-111講義室
- 使用機材：基地局3台，基準局1台，ICタグ1台
- 実験方法：基地局及び基準局を固定，ICタグを木板や金属板に貼り付けた状態で向きを四方に変えながら測位を行った．





配置図

18

静的貼り付け影響評価実験（2/2）

貼り付け対象物

	寸法
木板	300×300×16mm
ステンレス板	300×150×0.3mm
発泡スチロール板	300×300×20m
塩化ビニル板	297×210×2mm
ゴム板	300×300×20mm

実験結果

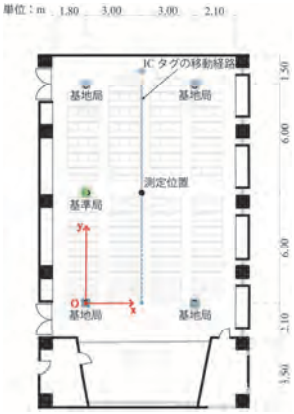
	平均誤差
木板	0.22m
ステンレス板	3.77m
発泡スチロール板	0.13m
塩化ビニル板	0.19m
ゴム板	0.23m

他の材料と比べて金属板（ステンレス板）を利用した際には大きな誤差が計測された.

19

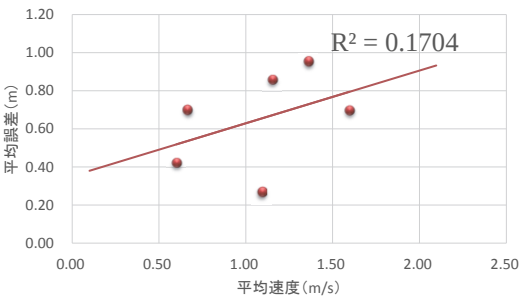
水平方向動的精度実験

- 実験場所：大阪大学吹田キャンパスS4-111講義室
- 使用機材：基地局4台，基準局1台，ICタグ1台
- 実験方法：基地局及び基準局を固定，ICタグを水平方向に移動させながら測位を行った．測定位置付近の測位データと撮影した映像で確認した実際の位置との誤差を計測した．



配置図

実験結果

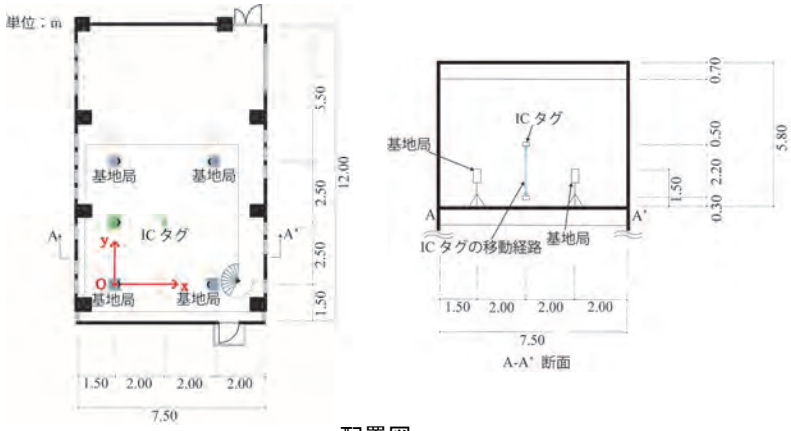


平均速度が速いほど誤差が大きくなる傾向が見られた.

20

鉛直方向動的精度実験（1/2）　2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験

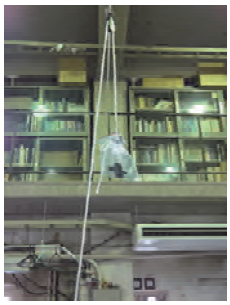
- 実験場所：大阪大学吹田キャンパスS4-512実験室
- 使用機材：基地局4台，基準局1台，ICタグ1台
- 実験方法：基地局及び基準局を固定，ICタグを鉛直方向に上下させる間の測位データを取得した．



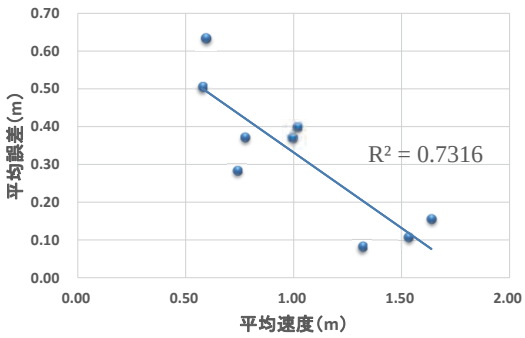
配置図

鉛直方向動的精度実験（2/2）　2. UWBを用いた屋内測位に関する基礎的実験

実験結果

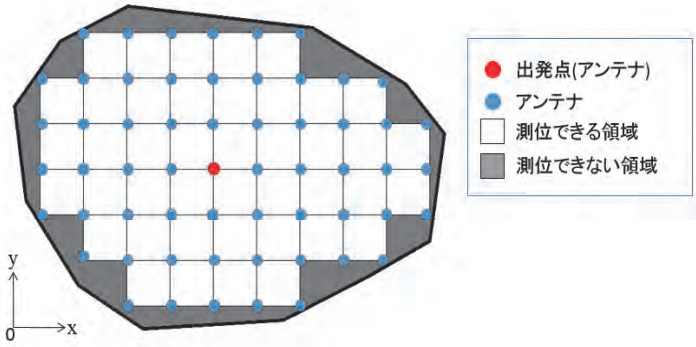


実験風景



アンテナ配置最適化システムの概要　　3. アンテナ設置最適化システム

- 遠隔の事務所で施工や安全の管理が行えるシステムを構築するために，UWBを受信するアンテナを現場に設置する必要がある．
- そこで，3次元プロダクトモデルの中で，電波の到達範囲などを自動的に考慮し，**図**に示すように，一定の領域に，任意の座標点から最大通信距離までの正方形を一番効率的かつ経済的な配置することを求める．領域内測位できる面積を最大化すると同時に，アンテナの個数を最も少なくさせるアルゴリズムの開発を目指す．



23

アルゴリズム開発のフローチャート　　3. アンテナ設置最適化システム

領域座標を設定し，そのデータを読み込む．

↓

領域内の1つの点を出発点とし，領域内すべてのアンテナの座標と個数を求める．

↓

領域内の1つの点を出発点とし，領域内で測位できる面積とできない面積を求める．

↓

領域内の任意点を出発点とし，アンテナの座標と個数，測位できる面積とできない面積を求める．

↓

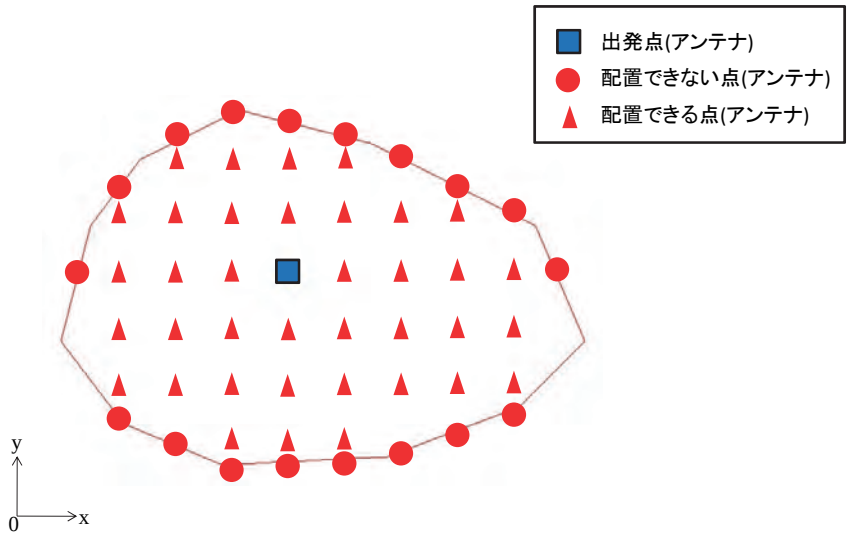
アンテナの個数と面積，また，コストを総合的に考慮し，最も良い配置方法を求める．

システムの開発環境

項目	内容
開発言語	C++
ソフトウェア	Microsoft Visual C++ 2010 Express
補助ソフトウェア（1）	Autodesk 3ds Max Design 2010
補助ソフトウェア（2）	AutoCAD 2010

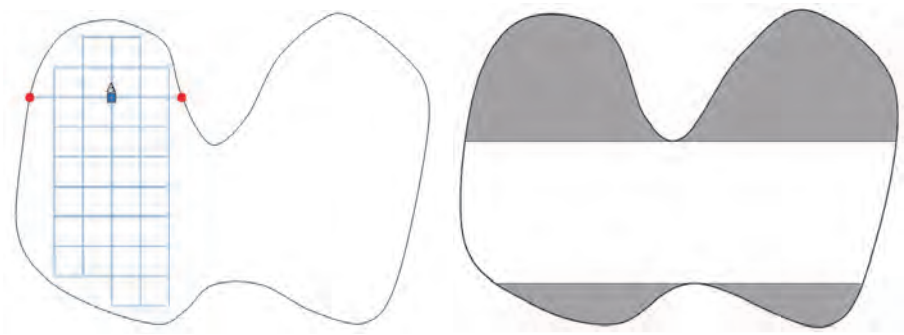
24

アンテナ配置座標の計算方法(1/2)　3. アンテナ設置最適化システム



25

アンテナ配置座標の計算方法(2/2)　3. アンテナ設置最適化システム



しかし, この方法は, 凹な領域の場合, 左の図に示すように, 出発点Aの場所によっては, 領域の極一部しかアンテナの配置位置が定まらない場合がある. このような場合, 右の図に示すように, 出発点から描く水平線が境界線に左右各々1回しか交差しない白い部分に出発点を配置することにより, 全体のアンテナの配置場所を求めることができる.

26

面積の計算方法　　3. アンテナ設置最適化システム

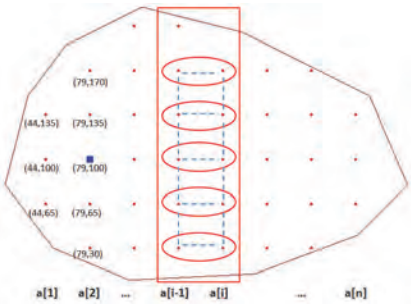
測位できる面積と測位できない面積を求めるために，領域全体の面積とアンテナで囲まれた面積を求める必要がある.

領域全体の面：領域を構成する点の座標を(x_i y_i)と表す．ここで，i=1, 2, …, nとする．領域全体の面積は下の式により求められる．この式を用いると，領域が凸多角形でも凹多角形でも面積の計算ができる．

$$S = \frac{1}{2}\left|\sum_{i=1}^{n}(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)\right|$$

ここで，
S: 領域全体の面積
ただし，$x_{n+1} = x_1$, $y_{n+1} = y_1$とする

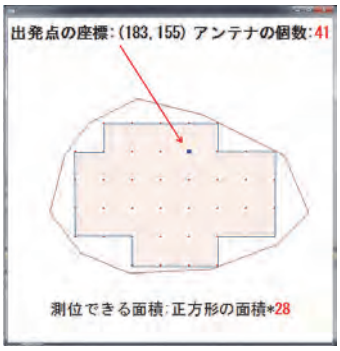
アンテナで囲まれた面積：アンテナで囲まれた面積を求めるために，隣接する4つのアンテナで囲まれた正方形の数を求める．下の図に示すように，アンテナの位置を点で示し，左側から縦の点列をa[1], a[2], …のように配列としてメモリに貯える．a[i-1]とa[i]において，Y座標が同じ点のペア数（この場合は5）から1を引いた数（この場合は4）を正方形の個数とする．このプロセスをa[1]からa[n-1]まで繰り返すことにより全ての正方形の個数が求められる．



27

モンテカルロ法による最適化(1/4)　　3. アンテナ設置最適化システム

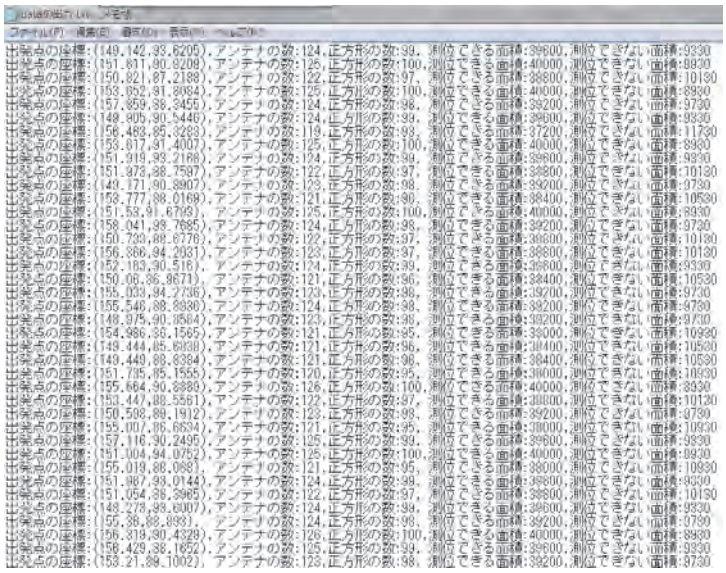
- モンテカルロ法（Monte Carlo Method）とは，乱数を用いてシミュレーションや数値計算を用いて行う手法である．ランダム法とも呼ばれる．
- 下の図に示すように，出発点が**(79, 100)**の場合はアンテナの個数は**38**で，正方形の数が**25**となった．一方，出発点が**(185, 155)**になると，アンテナの個数が**41**で正方形の数が**28**となった．このように計算で求められるアンテナの設置個数が異なる．また，測位できる面積とできない面積も異なる．
- そこで，領域内出発点を乱数で発生させて，数多くの異なる出発点のケースから，なるべく正方形の個数が多く，アンテナの個数が少ないケースを発見する必要がある．



28

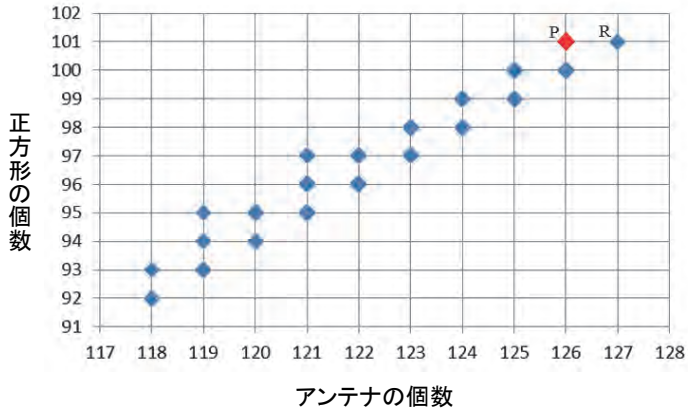
モンテカルロ法による最適化(2/4)　　3. アンテナ設置最適化システム

本研究では，C++のdouble型random()関数を用いた．最大通信距離20mに設定し，計算結果をプログラムからテキストファイルに出力した結果を図に示す．



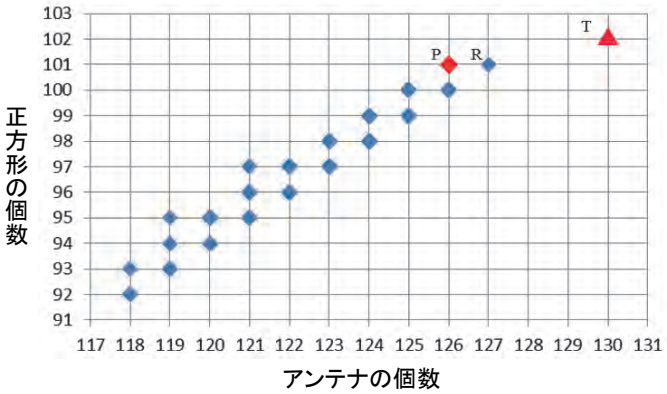
```
出発点の座標:(149.142,93.6205), アンテナの数:124,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(151.871,90.8209), アンテナの数:125,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(150.821,87.2188), アンテナの数:122,正方形の数:97, 測位できる面積:38800,測位できない面積:10130
出発点の座標:(153.852,91.8084), アンテナの数:125,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(157.859,88.3455), アンテナの数:124,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(149.805,90.5446), アンテナの数:124,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(156.483,85.3283), アンテナの数:119,正方形の数:93, 測位できる面積:37200,測位できない面積:11730
出発点の座標:(153.617,91.4007), アンテナの数:125,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(151.919,93.2168), アンテナの数:124,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(151.973,88.7597), アンテナの数:122,正方形の数:97, 測位できる面積:38800,測位できない面積:10130
出発点の座標:(149.171,90.8907), アンテナの数:123,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(153.777,88.0169), アンテナの数:121,正方形の数:96, 測位できる面積:38400,測位できない面積:10530
出発点の座標:(151.53,91.6793), アンテナの数:125,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(158.041,93.7685), アンテナの数:124,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(150.739,88.6776), アンテナの数:122,正方形の数:97, 測位できる面積:38800,測位できない面積:10130
出発点の座標:(156.866,94.2031), アンテナの数:123,正方形の数:97, 測位できる面積:38800,測位できない面積:10130
出発点の座標:(152.183,90.516), アンテナの数:124,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(150.06,86.8671), アンテナの数:121,正方形の数:96, 測位できる面積:38400,測位できない面積:10530
出発点の座標:(155.033,94.2736), アンテナの数:123,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(155.546,88.8836), アンテナの数:124,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(148.975,90.8584), アンテナの数:123,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(154.986,86.1565), アンテナの数:121,正方形の数:95, 測位できる面積:38000,測位できない面積:10930
出発点の座標:(149.444,85.6938), アンテナの数:121,正方形の数:96, 測位できる面積:38400,測位できない面積:10530
出発点の座標:(149.449,89.8384), アンテナの数:121,正方形の数:96, 測位できる面積:38400,測位できない面積:10530
出発点の座標:(151.735,85.1555), アンテナの数:120,正方形の数:95, 測位できる面積:38000,測位できない面積:10930
出発点の座標:(155.664,90.8889), アンテナの数:126,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(153.447,88.5561), アンテナの数:122,正方形の数:97, 測位できる面積:38800,測位できない面積:10130
出発点の座標:(150.598,89.1912), アンテナの数:123,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(155.007,86.6634), アンテナの数:121,正方形の数:95, 測位できる面積:38000,測位できない面積:10930
出発点の座標:(157.116,90.2495), アンテナの数:125,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(151.004,94.0752), アンテナの数:125,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(155.019,88.0881), アンテナの数:121,正方形の数:95, 測位できる面積:38000,測位できない面積:10930
出発点の座標:(151.987,93.0144), アンテナの数:124,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(151.054,88.3965), アンテナの数:122,正方形の数:97, 測位できる面積:38800,測位できない面積:10130
出発点の座標:(148.278,93.6007), アンテナの数:124,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(155.38,88.893), アンテナの数:124,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
出発点の座標:(156.319,90.4329), アンテナの数:126,正方形の数:100,測位できる面積:40000,測位できない面積:8930
出発点の座標:(156.429,88.1652), アンテナの数:125,正方形の数:99, 測位できる面積:39600,測位できない面積:9330
出発点の座標:(153.21,89.1002), アンテナの数:123,正方形の数:98, 測位できる面積:39200,測位できない面積:9730
```


モンテカルロ法による最適化(3/4)　　3. アンテナ設置最適化システム



- 図に示したアンテナの数と正方形の数の散布図である．
- 図より，仮に設定した領域に，最大通信距離20mの場合では，正方形の数はアンテナの個数が126と127の場合に一番多いことが分かる．これらPとRの2つの点の内，Pの方がアンテナの個数が少ないことからPが最適な結果であることが分かる．

モンテカルロ法による最適化(4/4)　　3. アンテナ設置最適化システム

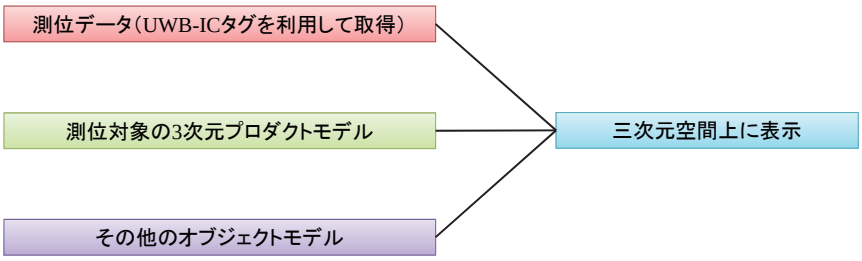


- ただし, 上の図に示すように, 点Tのようにアンテナが130個で正方形が102個のようなケースが発生したら, PとTとのいずれが経済的に優れているかを, 判断するためには, 別の指標が必要であろう.
- 本システムでは, アンテナの個数, 測位できる面積, 測位できない面積などを, 算定することができる. これにより, 最も経済的な配置方法を求めることができる.

31

3次元表示システムの概要　　4. 3次元表示システム

- GPSの利用できないトンネル内などの閉鎖空間は, 見通しが悪いことが多い.
- UWB-ICタグを用いると閉鎖空間でも位置情報を得られるので, この測位データを基に, 事前に作成された各種3次元モデルを3次元空間上に表示させることで, 建設施工現場の様子をコンピュータ上に再現することができる.
- 見通しの悪い現場であっても, 現場や事務所の作業員が, 現場全体の様子を知ることができ, 適切な指示を出すことができるようになる.



32

システムフロー

測位データを読み込む.

↓

個体識別番号と対応する3次元モデルを読み込む.

↓

3次元モデルの位置や向きを計算する.

↓

アニメーション情報を3次元モデルに付加する.

↓

ディスプレイに出力する.

開発環境

本システムの開発は, Autodesk社の3ds max シリーズの組み込みスクリプトであるMAXscriptを用いた. また, システムの動作環境として, 3ds max design 2013 を用いた.

項目	内容
開発言語	MAXscript
システム動作環境	3ds max design 2013

33

システム動作に必要なもの

- PCおよびソフトウェア（3ds max design 2013）
- 3次元モデル
  - 建設機械
  - 作業員
  - 建設資材
- 測位データ（UWB-ICタグから得られる）
  - 位置情報
  - 時刻
  - 個体識別番号

システム動作の流れ

3ds max design 2013 を起動する.

↓

スクリプトを立ち上げ, 読み込む測位データファイルを指定する.

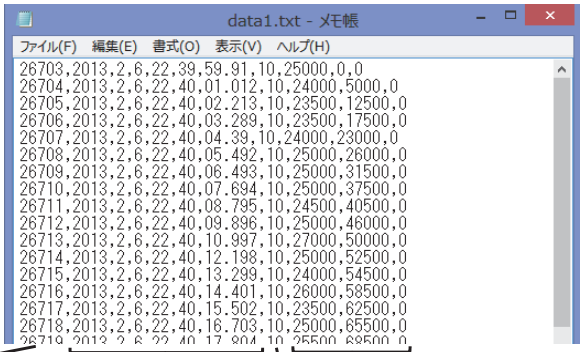
↓

アニメーションが開始される.

34

測位データファイル　　4. 3次元表示システム

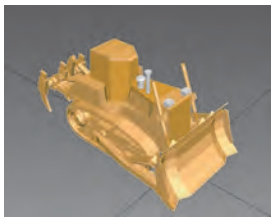
- 測位データとして, 測位通し番号, 日付・時刻, UWB-ICタグの個体識別番号, 位置座標（x座標, y座標, z座標）が出力される.
- 個体識別番号を基に, 対応する3次元モデルファイルを読み込む.
- これらのデータを読み込み, 3次元モデルにアニメーション情報を付加する.

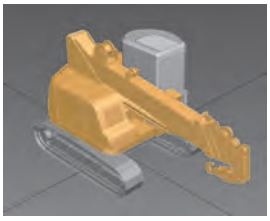


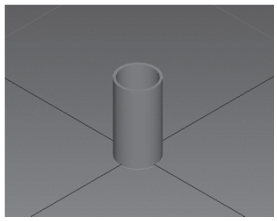
35

3次元モデル　　4. 3次元表示システム

表示させる3次元モデルとして, 建設機械, 作業員, 建設資材のモデルを用いた.


ブルドーザー


クローラクレーン


PC管

バックホウ

リシッドダンプトラック

作業員

36

動作画面

3次元空間上に各種3次元モデルが表示される.

37

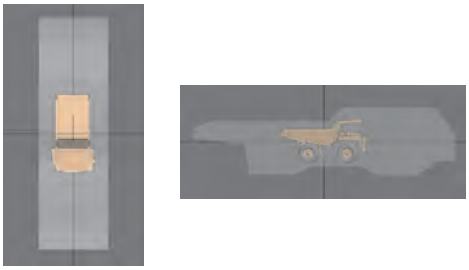
今後の展望

- 測位データを基に3次元空間上に3次元モデルを表示させた.
- 3次元モデルの表示の仕方や, 表示するデータ等を工夫することで, より使いやすいシステムにしていきたい.
- 建設施工現場における危険が予知される場合の作業員に対する警告や, 作業員や建設機械に対する指示をこの3次元空間上で行うことによって, 施工プロセスにおける安全性や効率性をより向上させることができると考えられる.

38

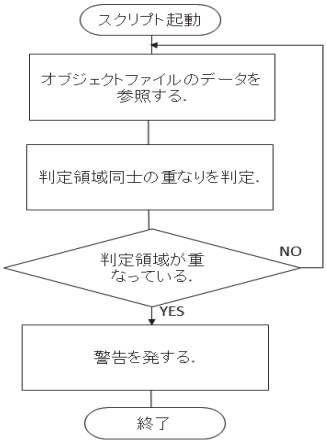
自動警告システムの概要

- 作業員が建設施工現場において建設機械や建設資材と接近した場合に, 危険を知らせるシステム.
- 本システムの開発により, 建設施工現場における安全性を向上させることができると考えられる.
- 接近状態を判別するために, 各種3次元モデルの周囲に判定領域を設置し, それらが重なりあった場合を危険状態と考え警告を行う.



リシッドダンプトラックの3次元モデルの判定領域
（前後方向に3倍, 左右方向に2倍, 上下方向に1.5倍の大きさに設定）

システムフロー



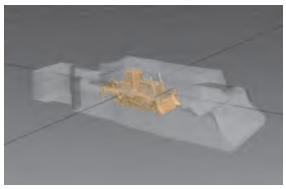
各判定領域同士の重なり判定を行い, 重なりの存在が認められた場合に警告を行う.

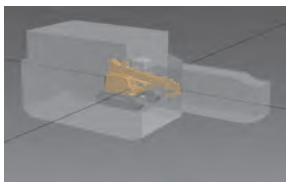
開発環境

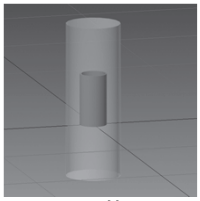
項目	内容
開発言語	MAXscript
システム動作環境	3ds max design 2013

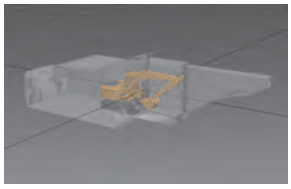
判定領域の設定　　5. 自動警告システム

各種3次元モデルに対して,前後方向に3倍, 左右方向に2倍, 上下方向に1.5倍の大きさに設定した.


ブルドーザー


クローラクレーン


PC管


バックホウ

リシッドダンプトラック

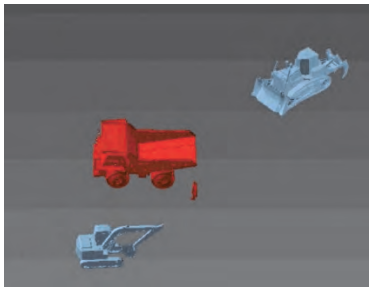
作業員

41

動作画面　　5. 自動警告システム

作業員と建設機械や建設資材が接近した場合に, 3次元モデルの色を変化させることで警告を行う.

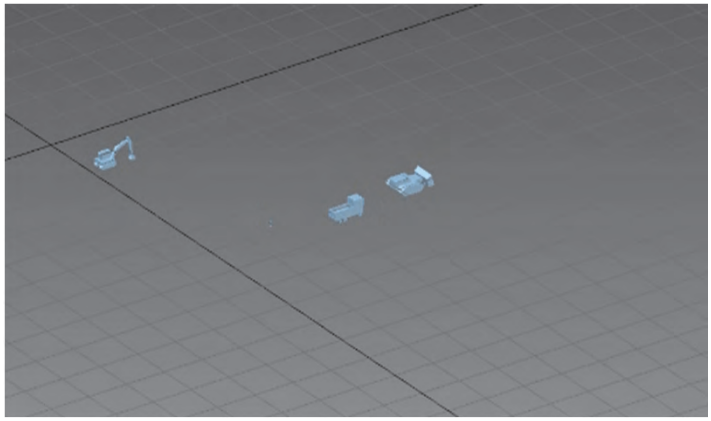
通常状態（非接近）


警告状態（接近）

42

アニメーション　　5. 自動警告システム

接近状態の判断は判定領域の重なりの有無によって行う.



43

今後の展望　　5. 自動警告システム

- 判定領域の設定方法
- 警告を行う方法

→ 検討

- 開発したシステムの検証

44

- UWB-ICタグを用いた屋内測位の精度調査を行った.
- UWB測位で用いるアンテナの配置を最適化するアルゴリズムの開発を行った.
- 建設施工現場において作業員, 各種建設機械, 建設資材にUWB-ICタグを取り付けることを想定し, 位置情報を基に3次元モデルを3次元空間上に表示させ, 建設施工現場を再現するシステムの開発を行った.
- 判定領域の設定を行うことによって, 危険状態の判断を行い自動的に警告を行うシステムの開発を行った.