

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

- (ア) 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術の開発
- (イ) 時空間信号処理技術の開発
- (ウ) 小型レーダーモジュール技術の開発

電気通信大学(課題ア. イ担当)
住友電工株式会社(課題ウ. 担当)

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

(ア) 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術の開発

(イ) 時空間信号処理技術の開発

(ウ) 小型レーダーモジュール技術の開発

電気通信大学(課題ア. イ担当)

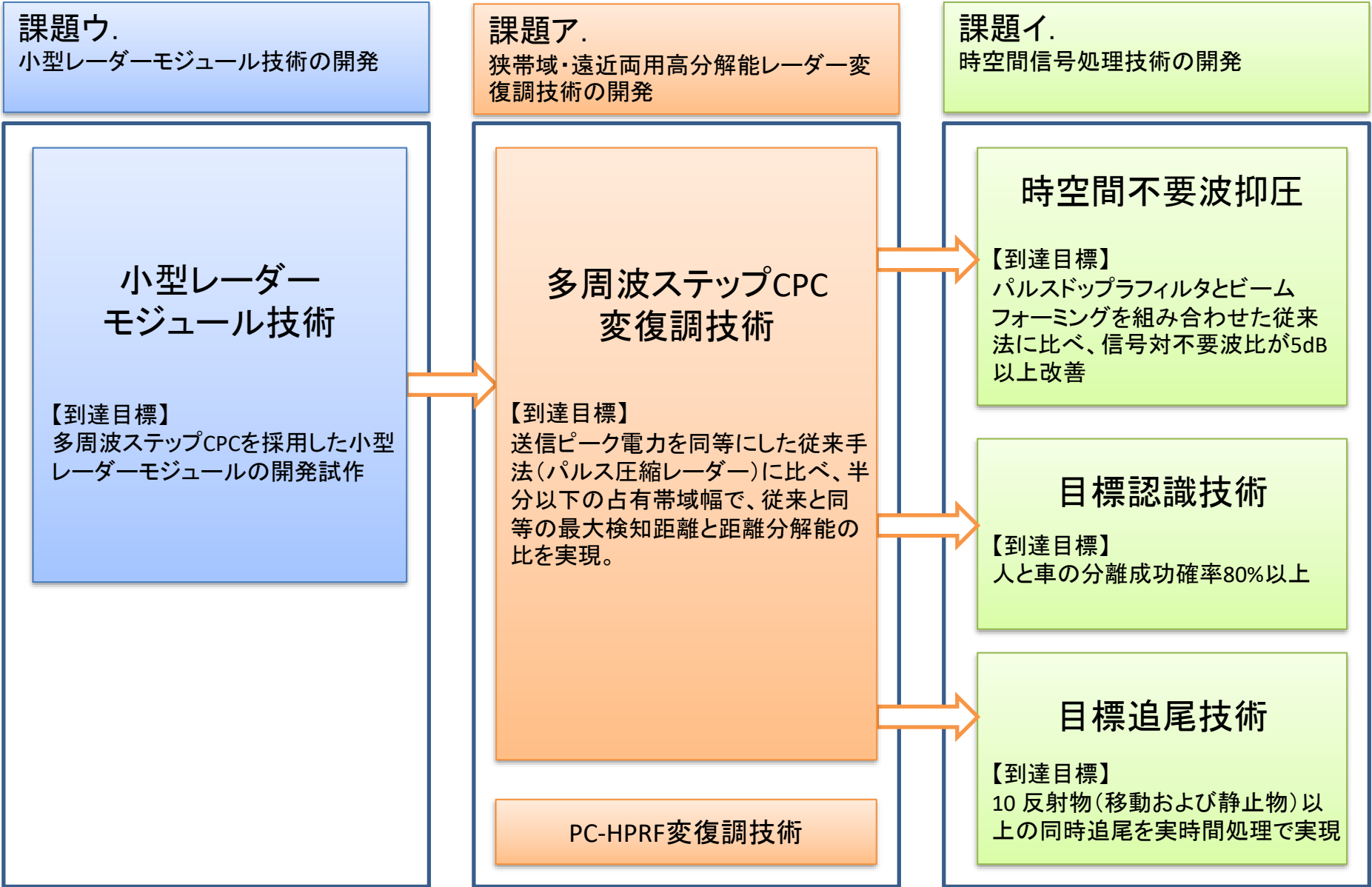
住友電工株式会社(課題ウ. 担当)

総括目標(基本計画書)

レーダーでは、狭帯域化することで分解能が反比例して悪化する。一方で最大検知距離は電波の往復伝搬損失から比例して延伸するわけではなく微小な遠距離化にとどまる。したがって狭帯域にて最大検知距離と距離分解能の比を向上させることは難しい技術課題である。本研究開発では、従来手法(パルス圧縮レーダー)に比べ半分以下の占有帯域幅で、送信ピーク電力と観測時間を同等にした従来の手法と同等の最大検知距離と距離分解能の比を得ることが可能で、1m～数十mの距離の物体を検知可能な狭帯域・遠近両用高分解用レーダーシステムを実現し、さらにその小型化技術を開発する。

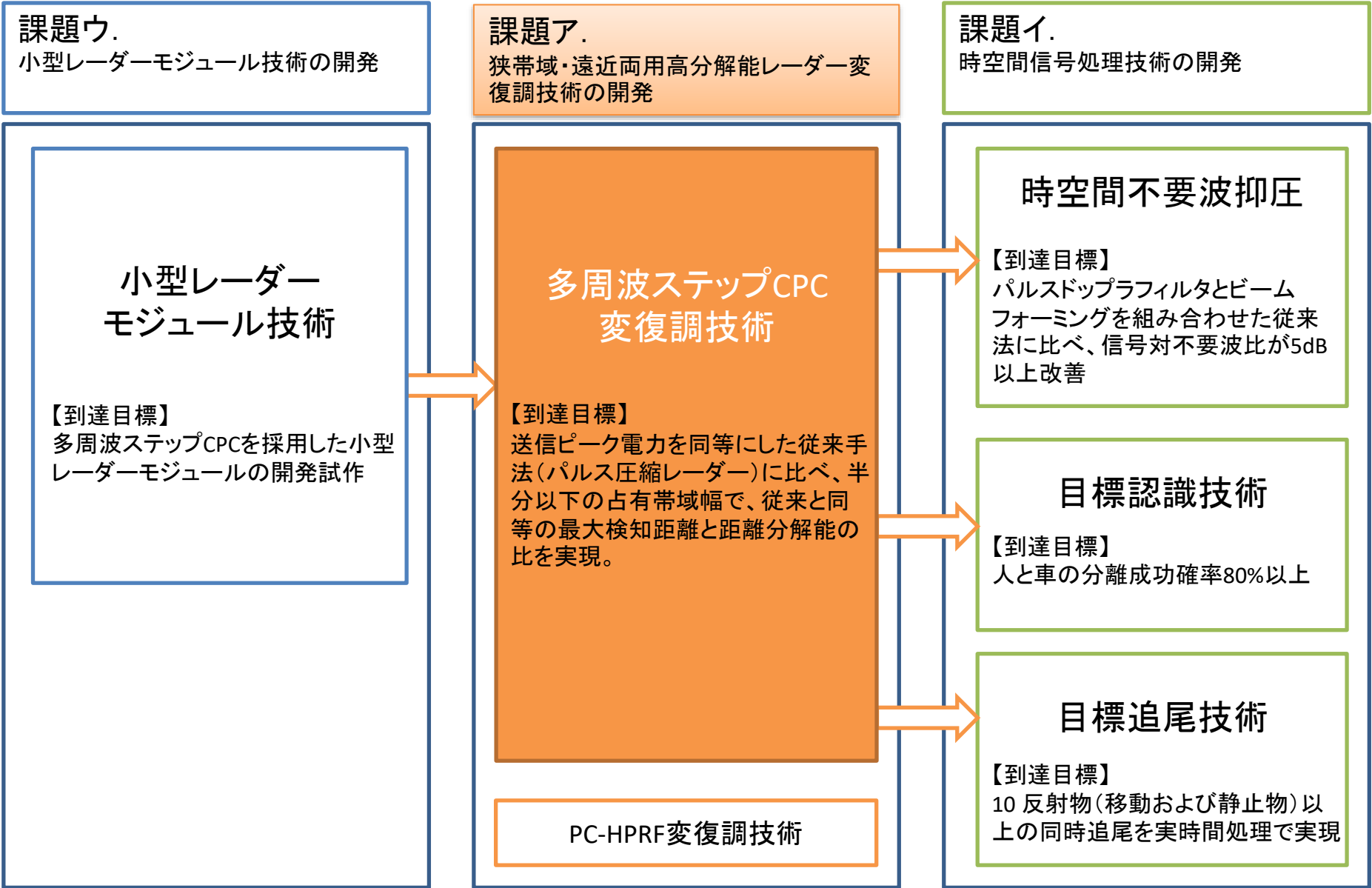
狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

各技術課題の関係



狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

各技術課題の関係



課題ア. 技術課題と到達目標

ア 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術の開発

高分解能を得るためには広帯域信号の送受信が必要であるが、広帯域化することで受信機雑音が増加し検知距離が減少してしまうという課題がある。このため、**人物の分離検知を可能とする高い分解能と遠距離性の両立を狭帯域にて実現**する新たな変復調方式を開発する必要がある。

課題ア. 技術課題と到達目標

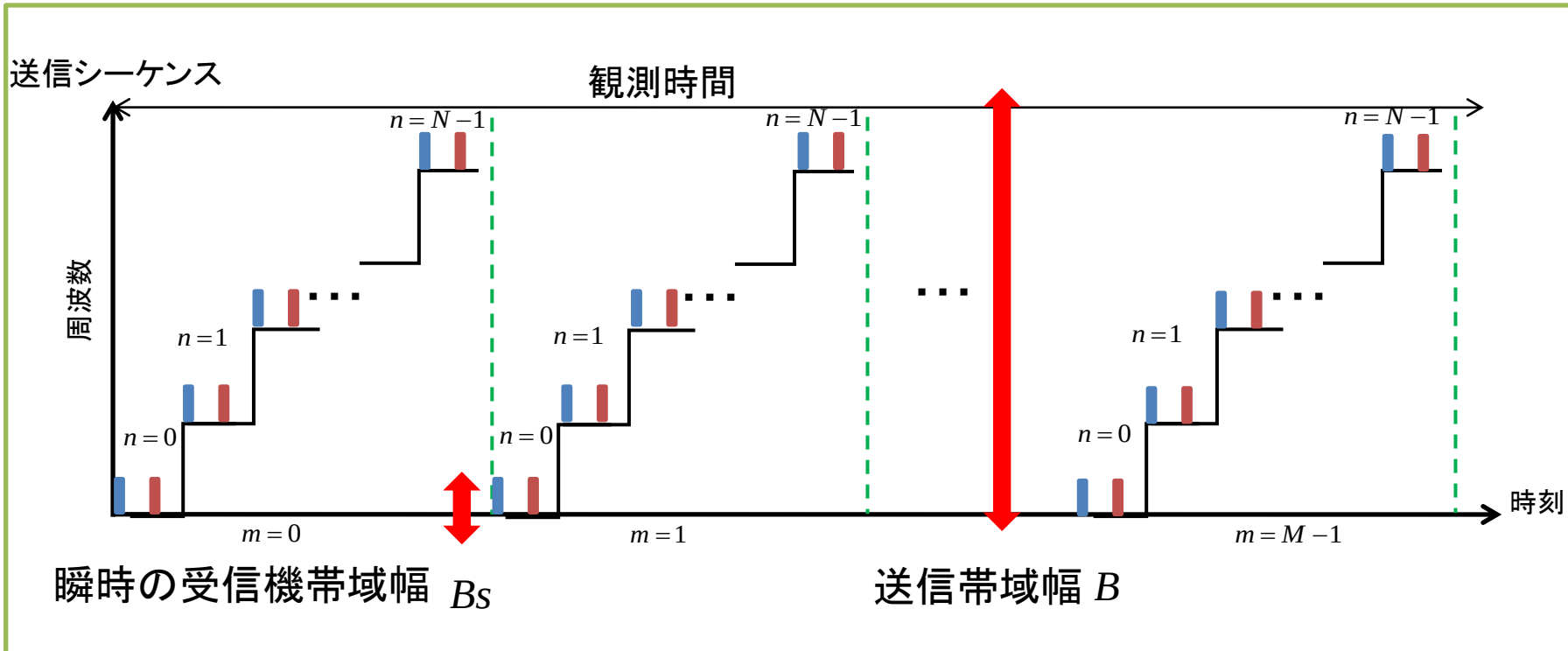
ア 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術の開発

送信ピーク電力を同等にした従来手法(パルス圧縮レーダー)に比べ、半分以下の占有帯域幅で、従来と同等の最大検知距離と距離分解能の比を実現するため、以下の変復調技術を開発する。また、1m～数十mの距離の物体を検知可能であることを確認する。

① 多周波ステップCPC方式の開発

時間差でなく、位相差を使った新しい測距原理による変復調方式であり、送信周波数を時分割で切り替え、かつそれらを繰り返す送信シーケンスを用いることにより、狭い受信機帯域幅にて遠距離性を確保しつつ高距離分解能化する。

多周波ステップCPC方式の送信波(CPC(Complementary Phase Code))



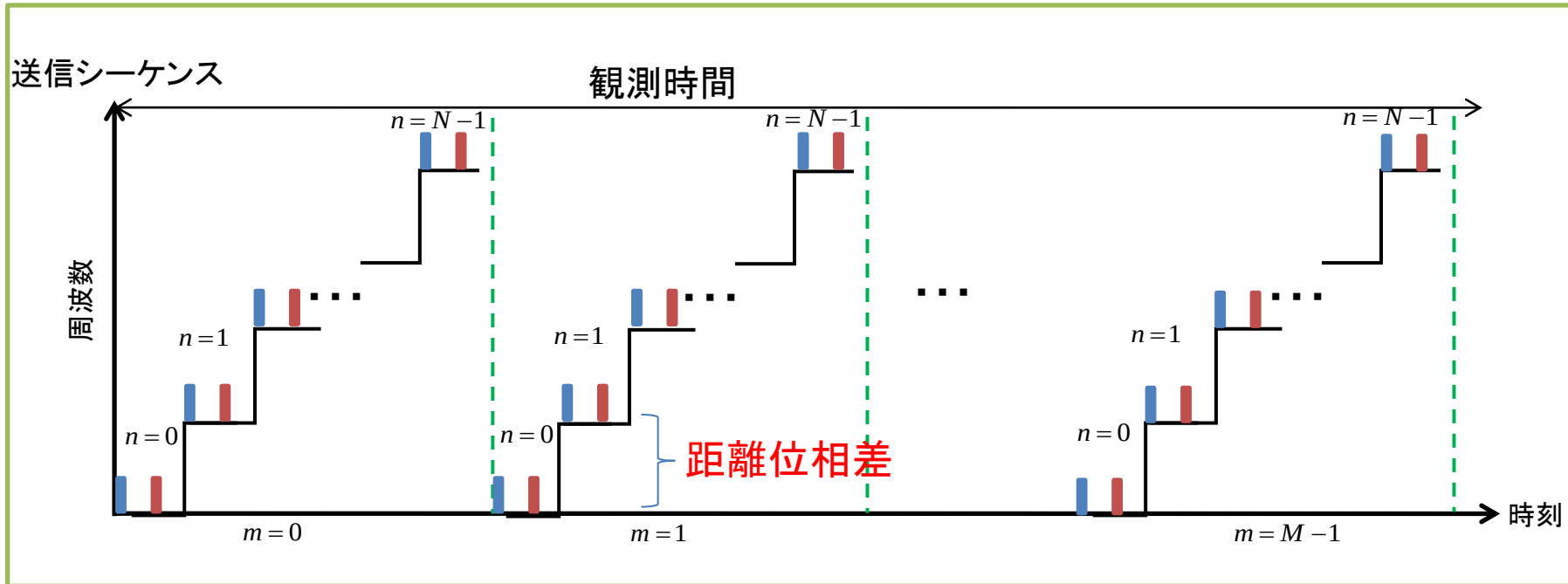
- 受信機の周波数を送信に合わせ時分割で切り替える。このため、瞬間の受信機帯域幅 B_s が小さい。

⇒ 受信機雑音を低減となることで遠距離化

多周波ステップCPC変復調方式

課題ア

多周波ステップCPC方式の送信波(CPC(Complementary Phase Code))



- 計測信号 X_s は以下で表され、距離位相項に距離情報を含む。

$$X_s(n, m, k) = \exp j[2\pi \cdot f_d(n, \theta_{cl}) \cdot (PRI \cdot 2n + PRI \cdot 2Nm + \tau_k)]$$

ドップラ周波数項

$$-4\pi \frac{R_k(f_c + f_n)}{c} + code - 2\pi \cdot f_{sp}(n, \theta_{cl}) \cdot l]$$

距離位相

符号

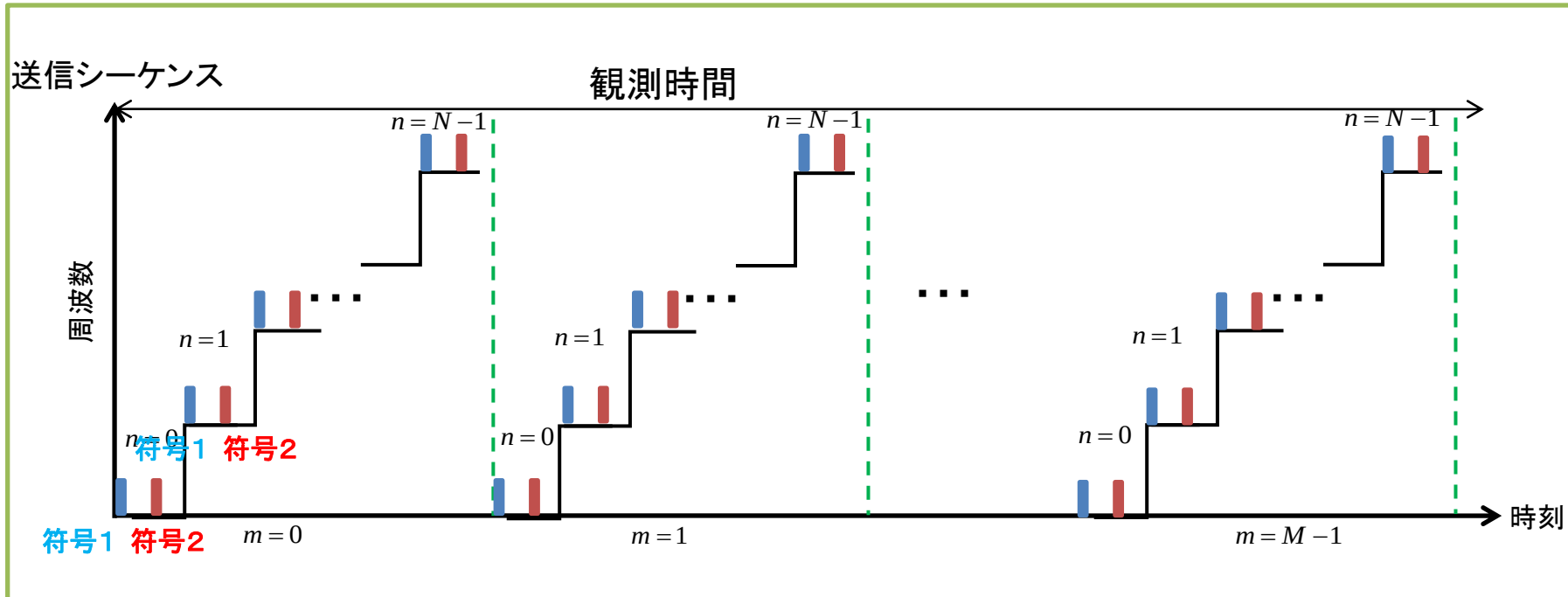
空間周波数項

⇒ パルスの時間遅延でなく、各周波数での距離位相項から距離計測することで高距離分解能化

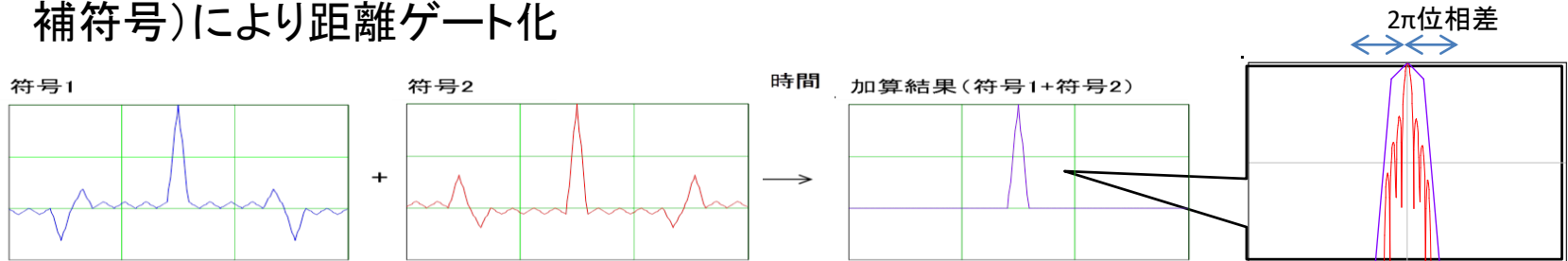
多周波ステップCPC変復調方式

課題ア

多周波ステップCPC方式の送信波(CPC(Complementary Phase Code))

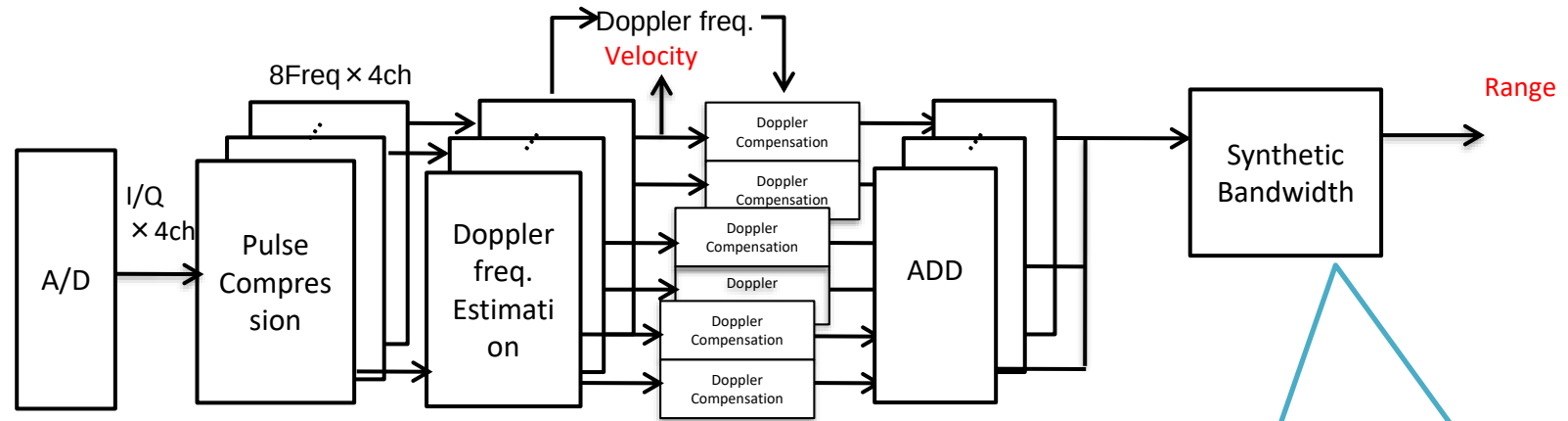


- 距離位相差計測での問題である**位相折り返し対策**として、**CPCパルス圧縮**(2つの相補符号)により距離ゲート化

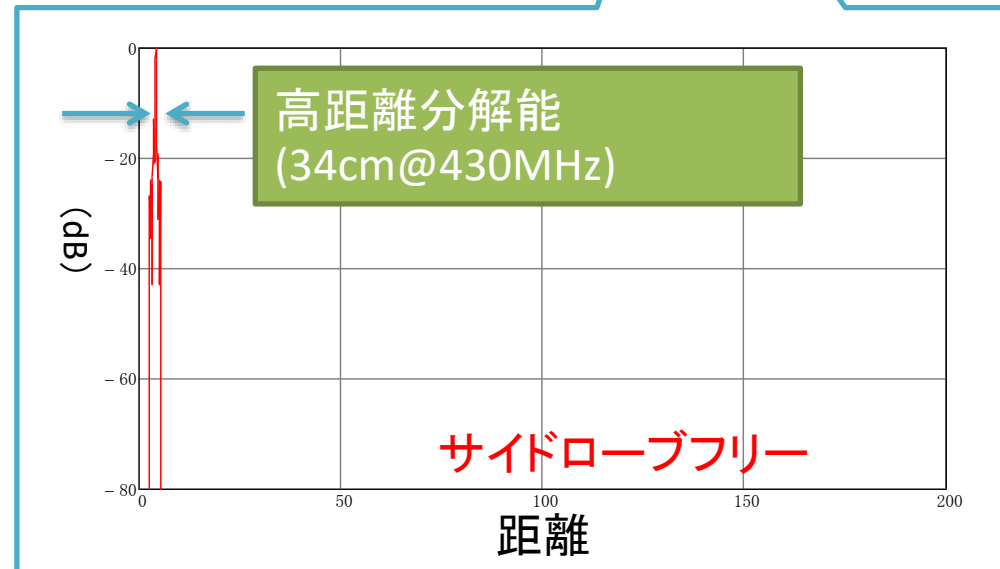


⇒ 位相折り返しを距離ゲートで分離し遠距離に亘り**位相折り返し除去**（ただし、時分割周波数シフト、距離位相、CPCパルス圧縮で問題となるドップラシフトをそれぞれ有効に補償する補償処理の開発が必要）

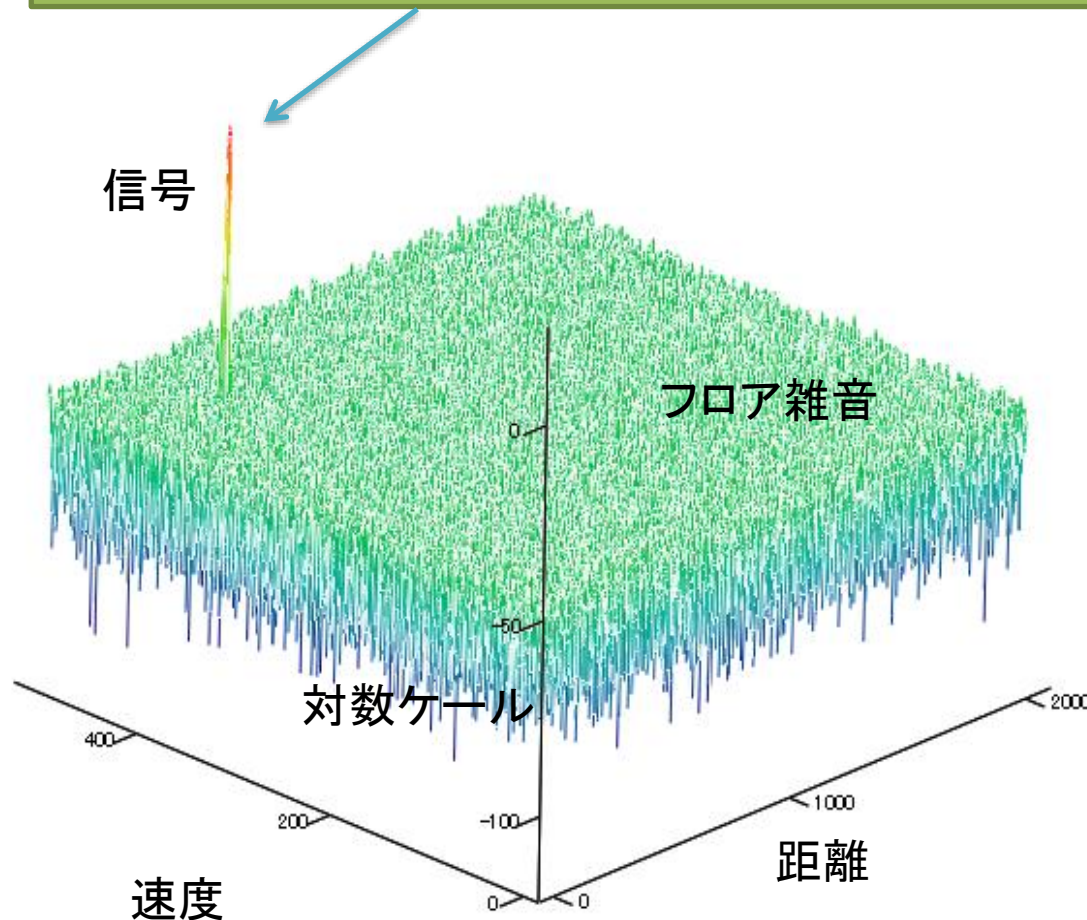
信号処理フロー



合成帯域処理にてパルス圧縮出力を更に高分解能化



信号のある距離、速度にのみ鋭いピークが得られ、多目標分離能力に優れる。



L_SWW

多周波ステップCPC方式

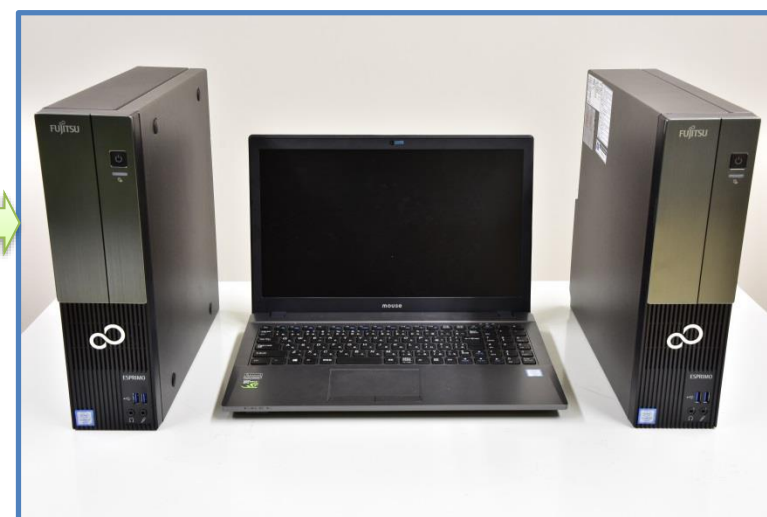
(1) 多周波ステップCPC方式 信号処理装置

【開発成果】

リアルタイム信号処理器

信号処理器制御装置

課題ウ
RF部



(1)多周波ステップCPC方式 信号処理装置

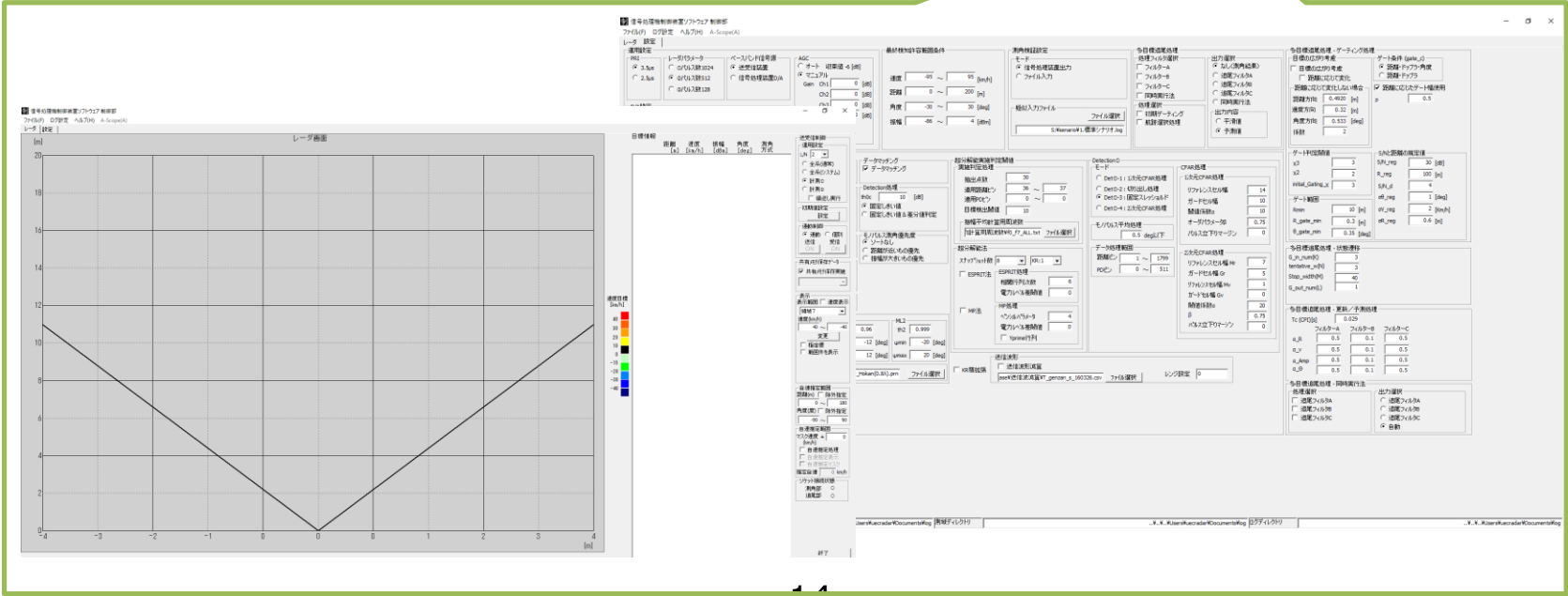
【開発成果】

リアルタイム信号処理器

信号処理器制御装置



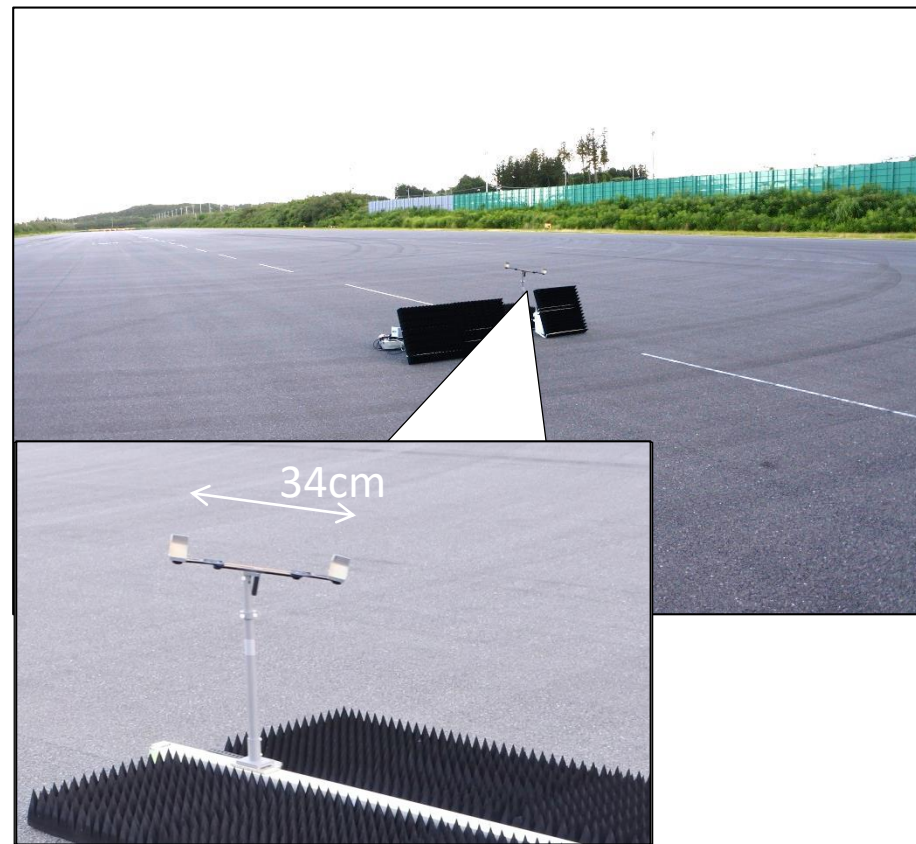
課題ウ
RF部



近距離に目標(強い反射電力)があるなかで、遠距離の等速2目標(送信帯域幅に相当する約34cm差)の分離を実証(電通大開発の60GHzRF部を備える多周波ステップCPCレーダにて)



日本自動車研究所総合試験路におけるシステム試験

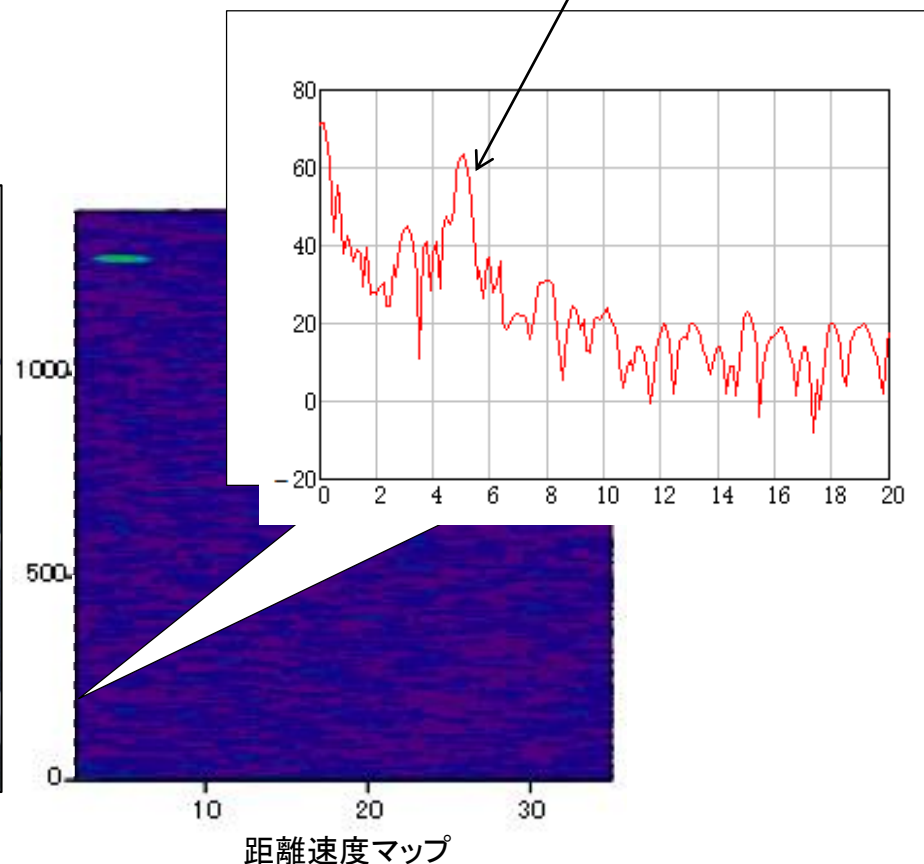


近距離に目標(強い反射電力)があるなかで、遠距離の等速2目標(送信帯域幅に相当する約34cm差)の分離を実証(電通大開発の60GHzRF部を備える多周波ステップCPCレーダにて)

近距離目標の検出



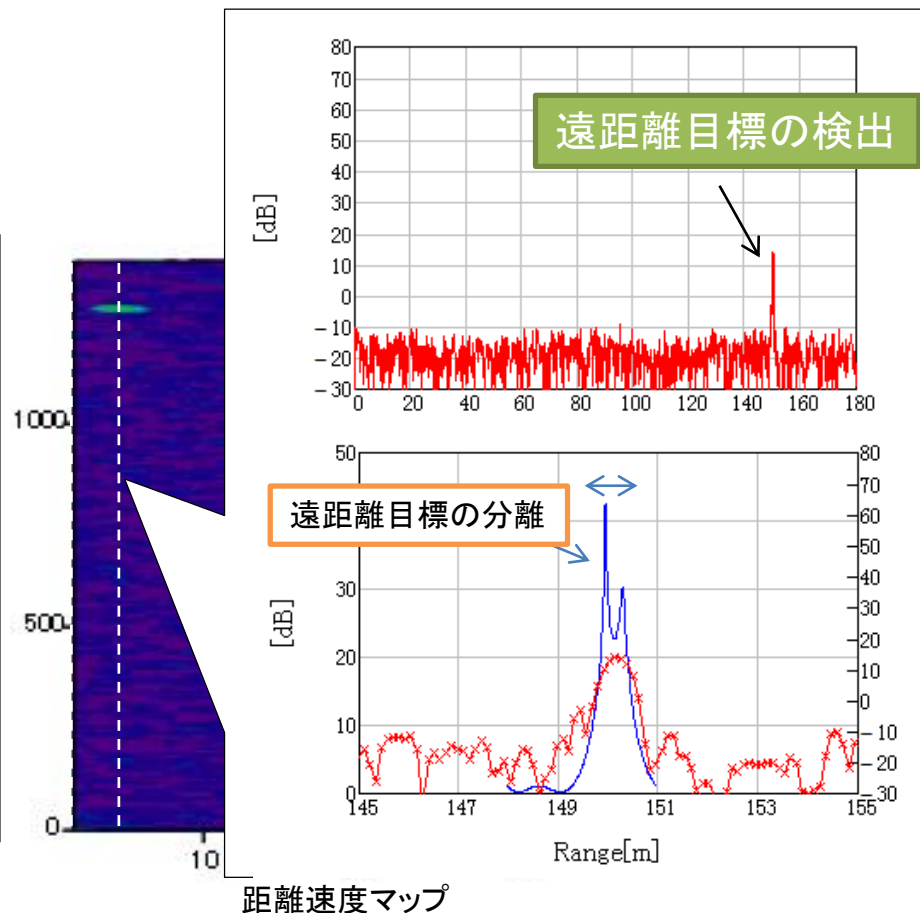
日本自動車研究所総合試験路におけるシステム試験



近距離に目標(強い反射電力)があるなかで、遠距離の等速2目標(送信帯域幅に相当する約34cm差)の分離実証試験(電通大開発の60GHzRF部を備える多周波ステップCPCレーダにて)

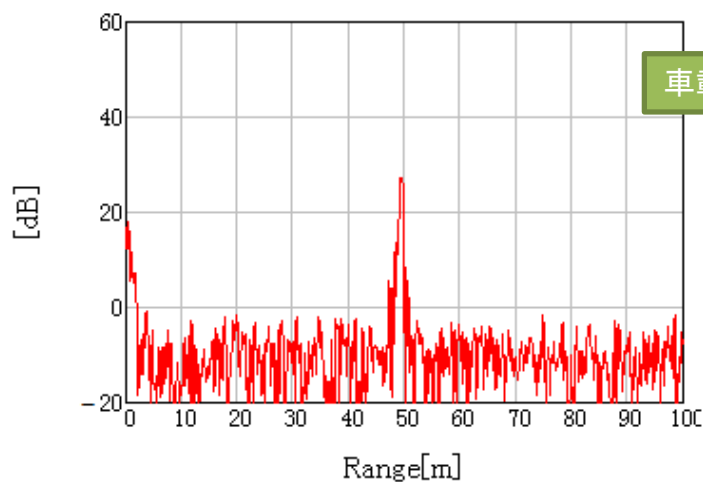
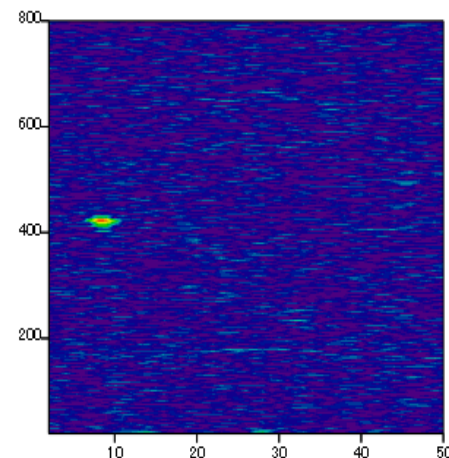


日本自動車研究所総合試験路におけるシステム試験

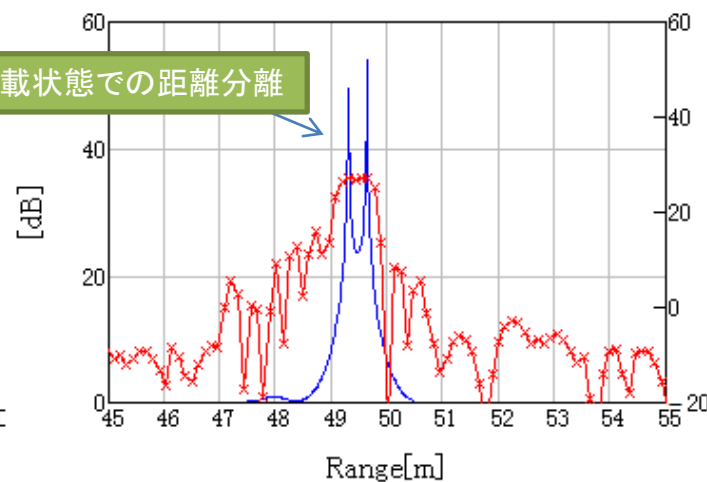


遠距離(150m)の周波数帯域幅相当の距離差 ΔR (34cm)の2目標を分離

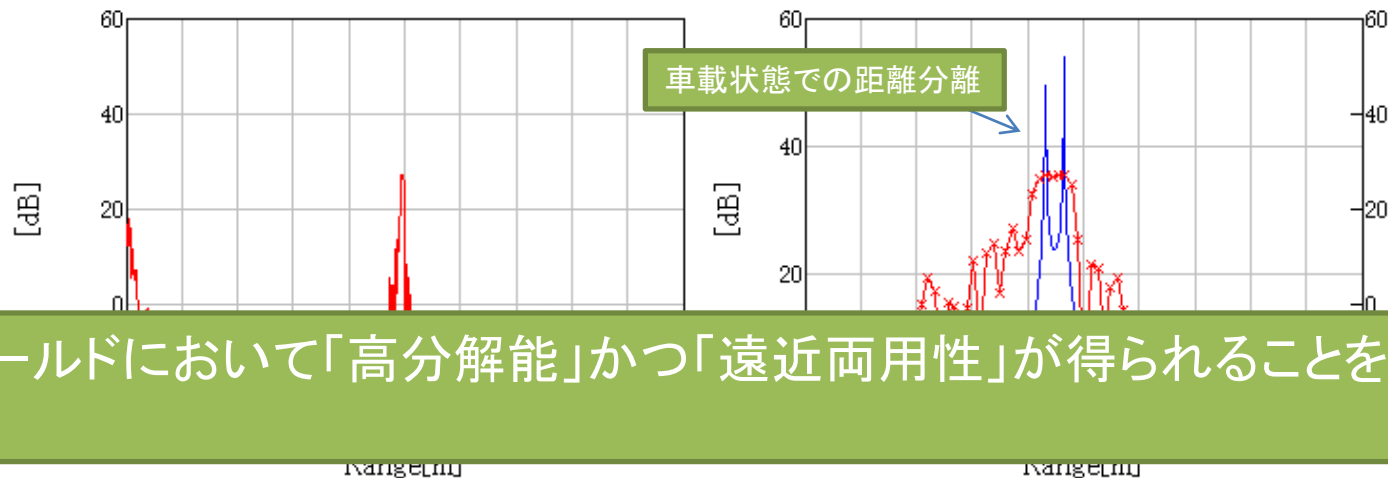
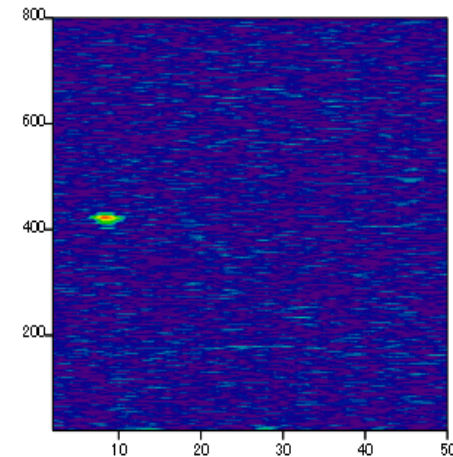
課題ウ. で開発した76GHzRF部と接続した多周波ステップCPCレーダを車載した状態で、
等速2目標(送信帯域幅に相当する約34cm差)の分離実証試験



車載状態での距離分離



課題ウ. で開発した76GHzRF部と接続した多周波ステップCPCレーダを車載した状態で、
等速2目標(送信帯域幅に相当する約34cm差)の分離実証試験



実フィールドにおいて「高分解能」かつ「遠近両用性」が得られることを実験的に実証

【到達目標】

送信ピーク電力を同等にした従来手法（パルス圧縮レーダー）に比べ、**半分以下の占有帯域幅**で、従来と同等の最大検知距離と距離分解能の比を実現の検証。

【評価方法】

ソフトウェアレーダ（多周波ステップとパルス圧縮の両変調波を送受信可能）での比較評価

→ソフトウェアレーダで定量的比較を実施するため、 $(R_{\max}/\Delta R)$ が「**1.68倍以上**」を達成すること等価的な達成目標となる（下図参照）。

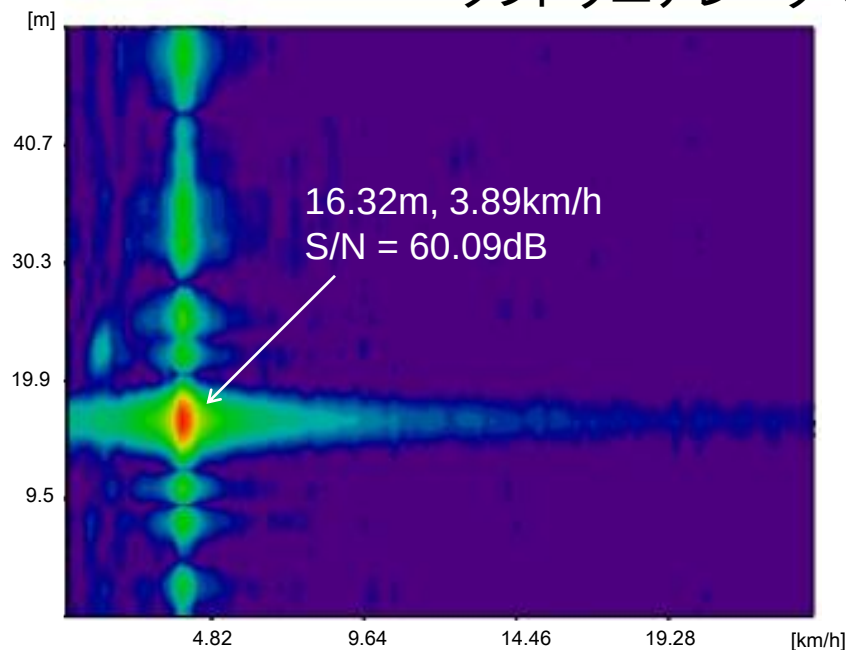
	受信機帯域幅	S/N	探知距離	距離分解能 (ΔR)	性能 ($R_{\max}/\Delta R$)	同じ性能を得るために必要な送信帯域
パルス圧縮方式	1	-	1	1	1	1
多周波ステップCPC方式での達成目標と等価達成目標	1/8.2 以下	9.1dB 以上	1.68 以上	1	1.68 以上 (等価達成目標)	0.5 以下 (基本設計書達成目標)

ソフトウェアレーダでの比較評価試験

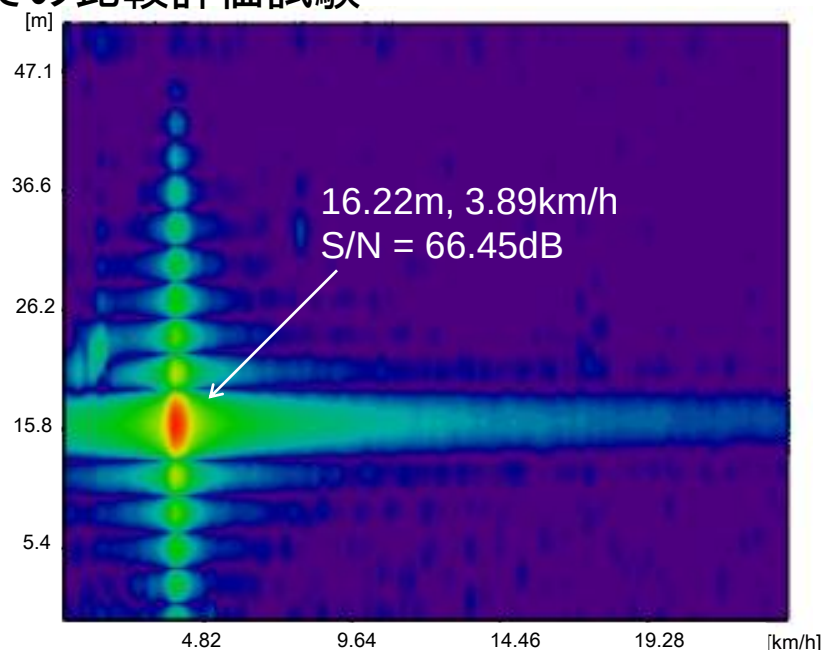


電波暗室 (20m × 10m × 10m) における比較評価実験
S/N@20mから最大検知距離を比較

ソフトウェアレーダでの比較評価試験



パルス圧縮方式



多周波ステップCPC方式

	距離1mの S/Nの平均[dB]	標準偏差
パルス圧縮方式	108.16	0.55
多周波ステップCPC方式	117.61	0.38



SN比9.45dBの差
→探知距離1.72倍

ソフトウェアレーダという同一装置を用いた比較実験で、等価達成目標である探知距離1.68倍以上が得られ、「送信ピーク電力を同等にした従来手法(パルス圧縮レーダー)に比べ、半分以上の占有帯域幅で、従来と同等の最大検知距離と距離分解能の比を実現」を達成できたことを実証

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

(ア) 狭帯域・遠近両用高分解能レーダー変復調技術の開発

(イ) 時空間信号処理技術の開発

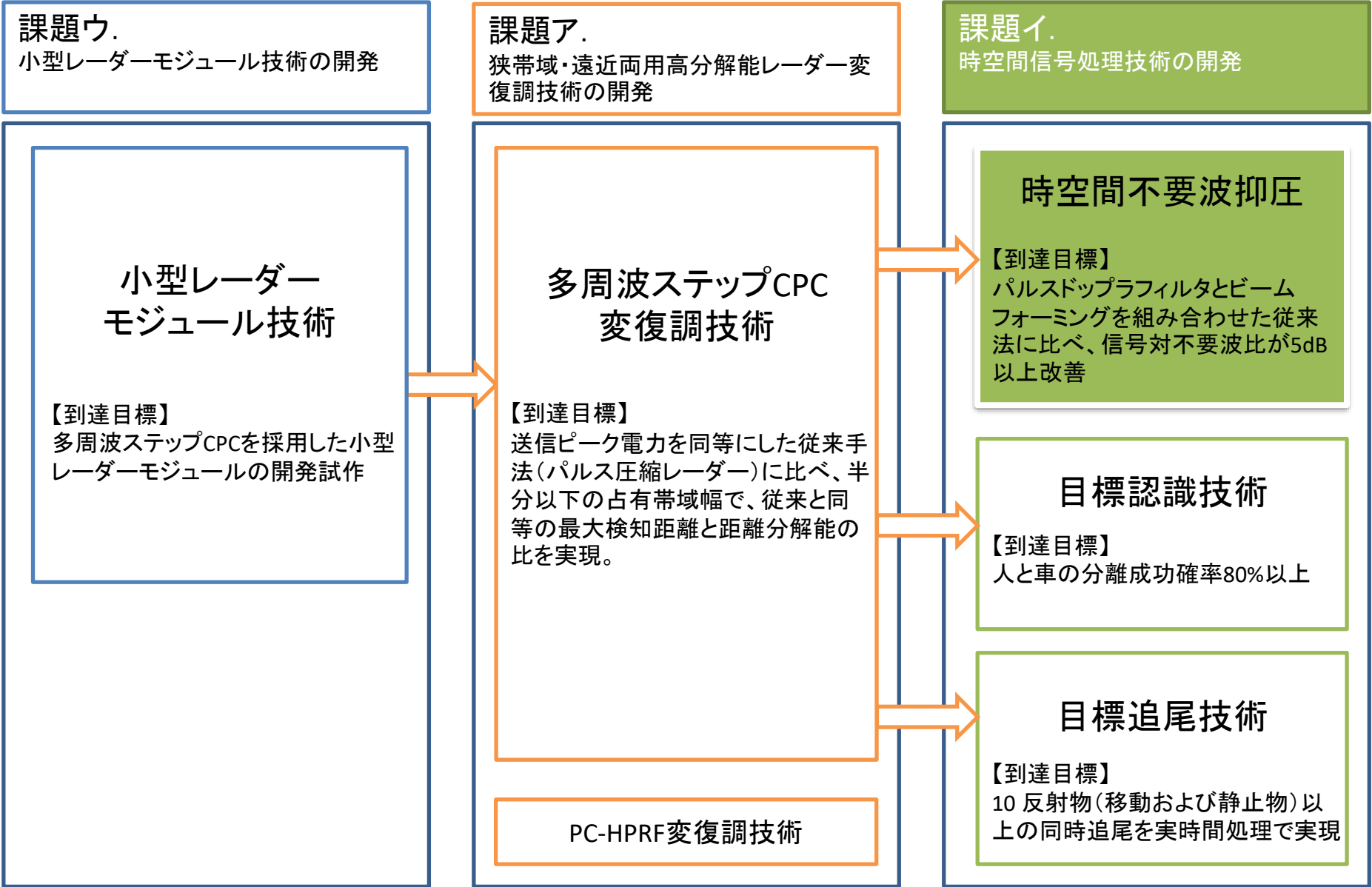
(ウ) 小型レーダーモジュール技術の開発

電気通信大学(課題ア. イ担当)

住友電工株式会社(課題ウ. 担当)

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

各技術課題の関係



課題Ⅰ. 技術課題と到達目標

Ⅰ 時空間信号処理技術の開発

(1) 不要波抑圧時空間信号処理技術の開発

高分解能レーダーでは、人や車といった検知対象目標のみならず地面や側方構造物からの反射による静止不要反射波であるクラッタ(Clutter)や他レーダーからの直接波である干渉波などの各種不要波が多数計測される。

このような複雑な電波環境に対応するため、**不要波抑圧性能をより強固なものとする必要がある。**

課題Ⅰ. 技術課題と到達目標

Ⅰ 時空間信号処理技術の開発

(1) 不要波抑圧時空間信号処理技術の開発

不要波抑圧技術として、アレーアンテナを備えるレーダーにより計測された実データを解析し各種環境でのクラッタの特性を研究・把握した上で、アレーアンテナによる時空間信号処理アルゴリズムを開発する。

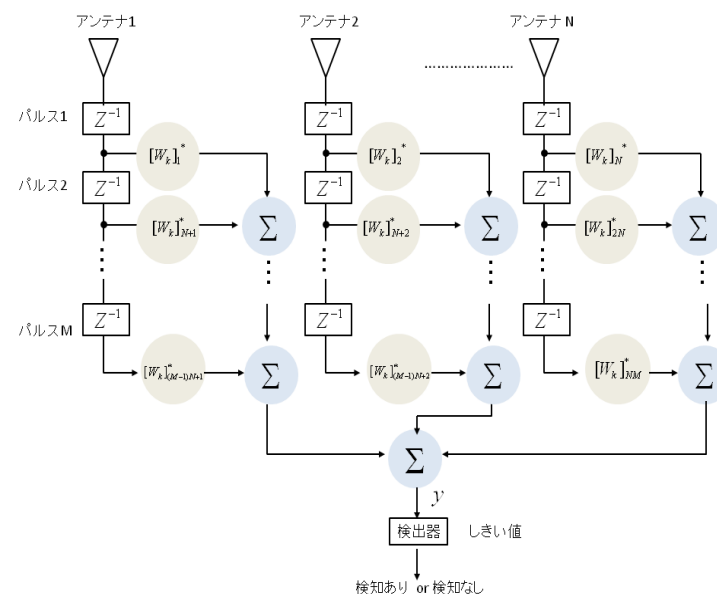
具体的には、見通しのよい道路や市街地等、各種道路環境にて実時間動作可能な高分解能遠近両用レーダー信号処理装置で計測した時空間不要波信号の基礎特性を評価し、

多周波ステップCPC 方式に適合したアルゴリズムを開発することで、パルスドップラフィルタとビームフォーミングを組み合わせた従来法に比べ、信号対不要波比が5dB 以上改善されることをシミュレーションにより検証する。

レーダにおける時空間信号処理とは、アレーアンテナを備えるレーダーにより計測された角度方向データとパルス方向データの2次元データをもとに、その2次元空間でクラッタにヌルを形成する適応フィルタである。



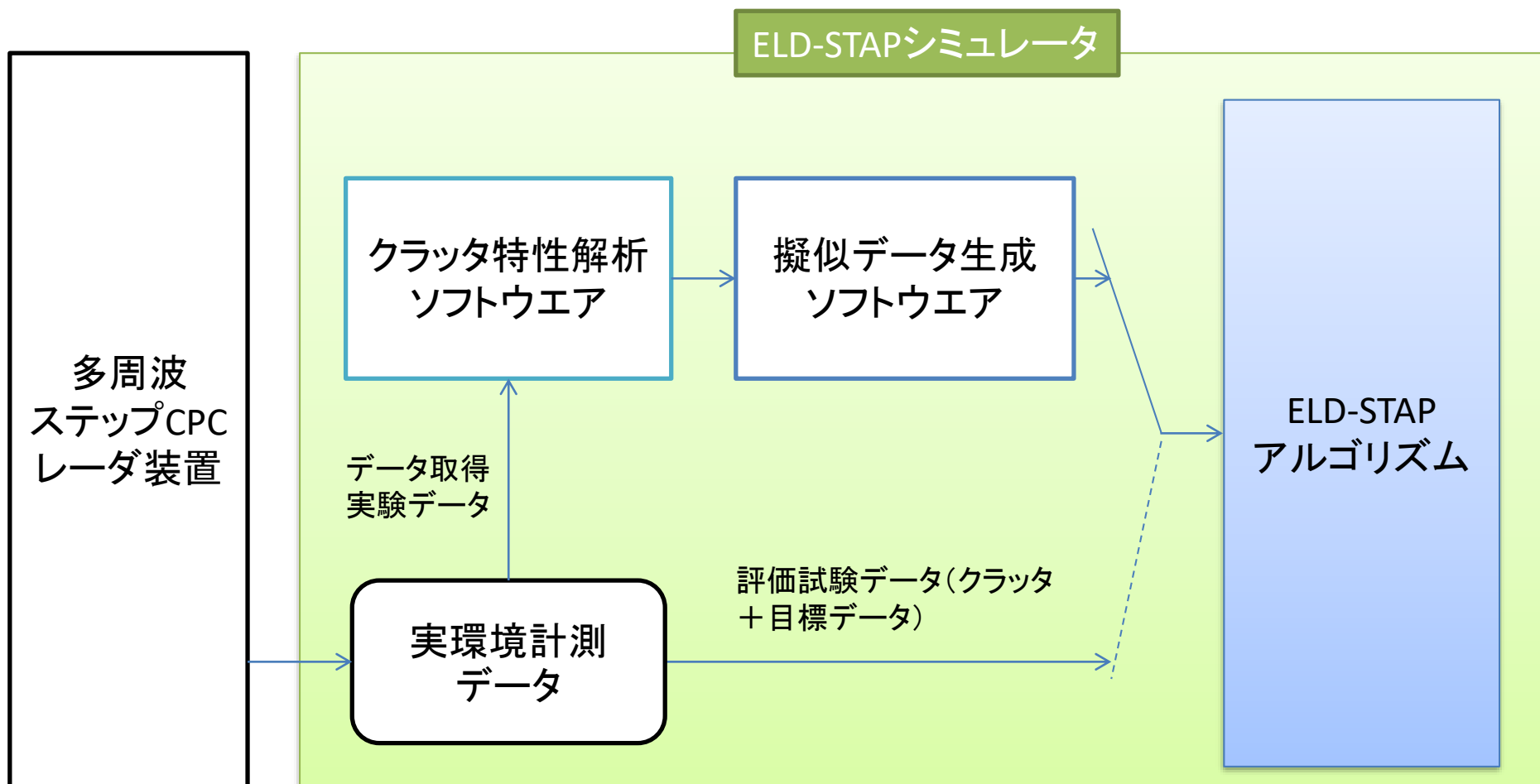
車載前方監視レーダにおける計測信号



空間信号と時間信号による2次元時空間信号処理

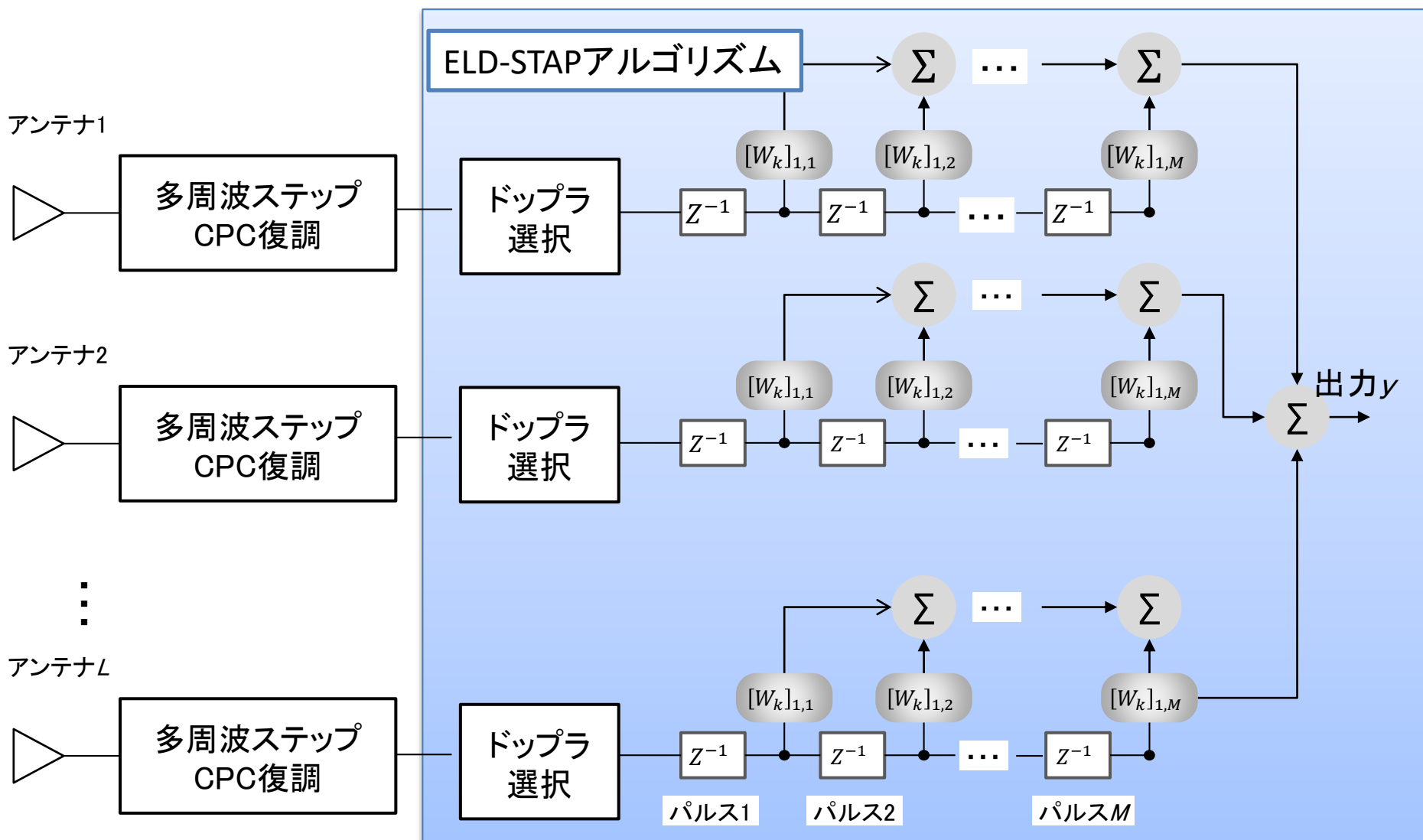
【開発成果】

開発したELD-STAPシミュレータはクラッタ特性解析ソフトウェア、擬似データ生成ソフトウェア、ELD-STAPアルゴリズムから構成される



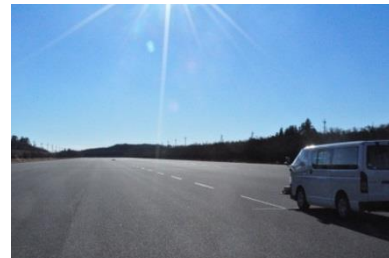
【開発成果】

パルスドップラフィルタを前処理として、自速周辺領域のみを切りだしてしてアンテナ方向とドップラ方向で処理する独自の2次元適応フィルタであるELD-STAPアルゴリズムを開発



60GHzRF部を備える多周波ステップCPCLレーダにて、各種環境で不要波(クラッタ)データを計測取得した。

■ 平滑なアスファルト道路



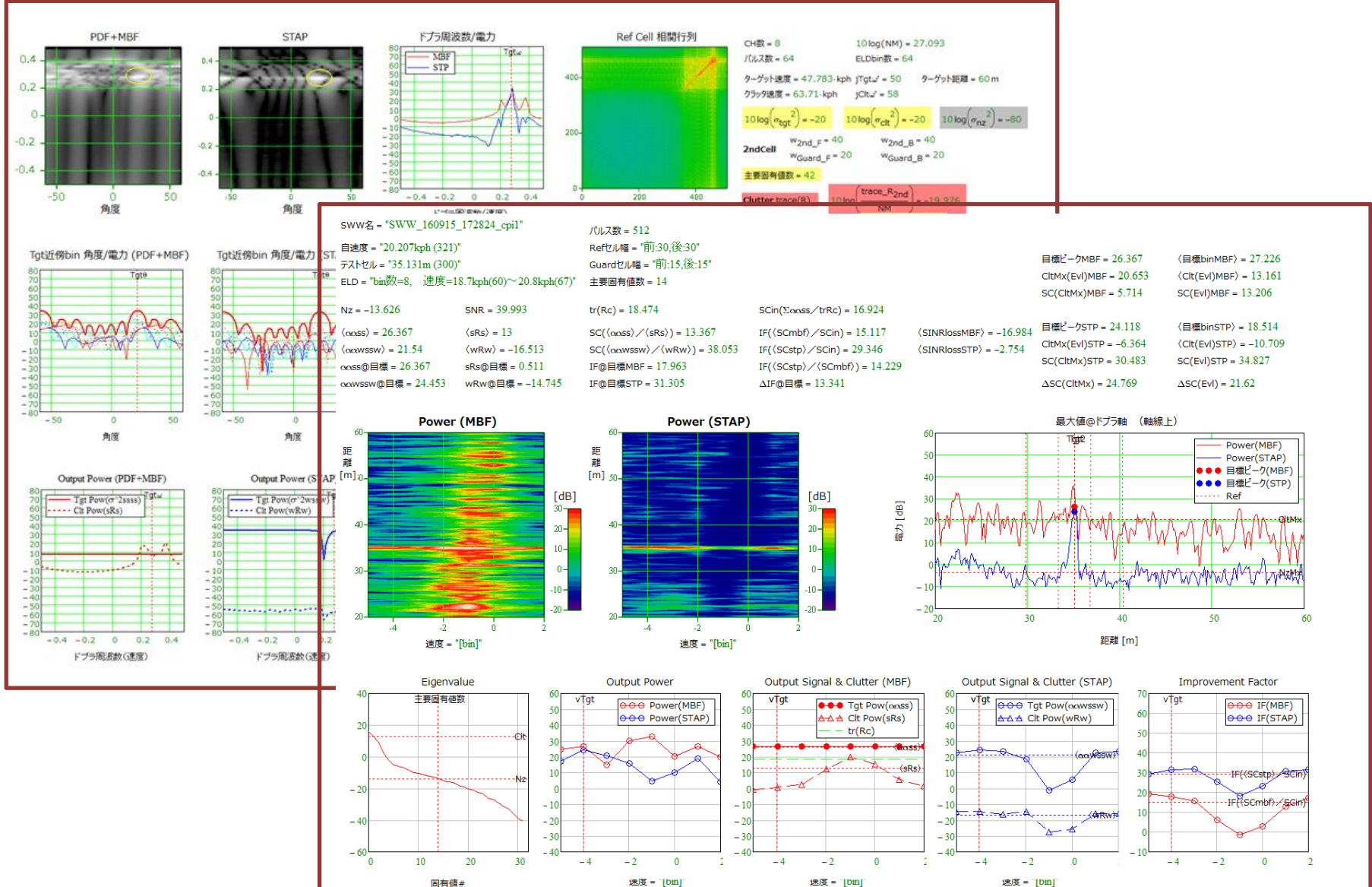
■ 砂利道



■ 側方に建物が立ち並ぶ道路



開発したシミュレータの出力例



【到達目標】

パルスドップラフィルタとビームフォーミングを組み合わせた従来法に比べ、信号対不要波比5dB以上の改善

【評価方法】

各種環境で計測した多周波ステップCPCレーダ出力のクラッタデータと目標人物データからクラッタの抑圧能力 (IF値: Improvement Factor) をELD-STAPシミュレータにより評価

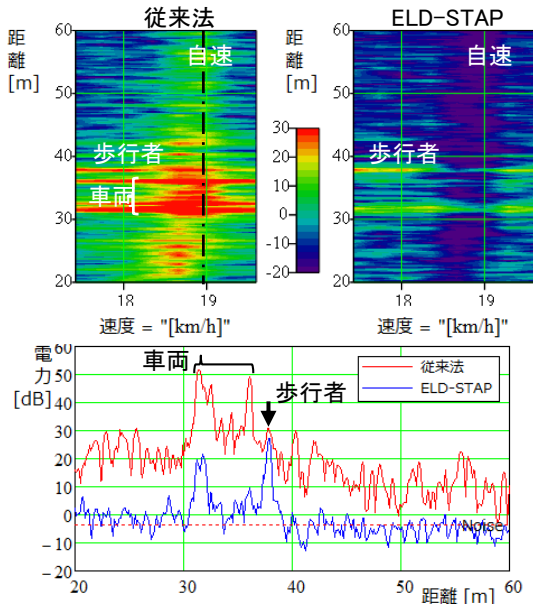
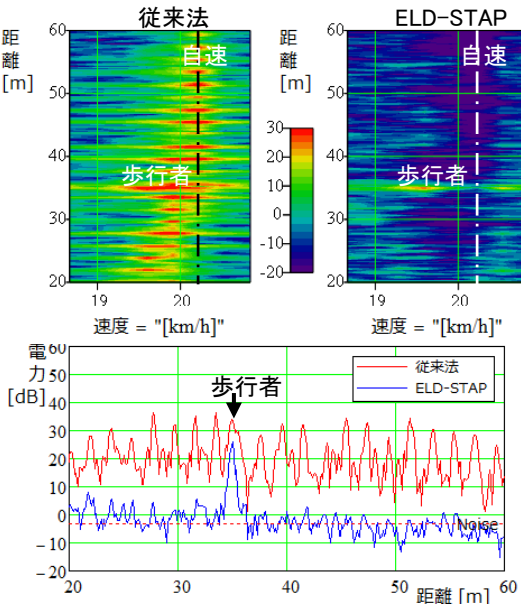
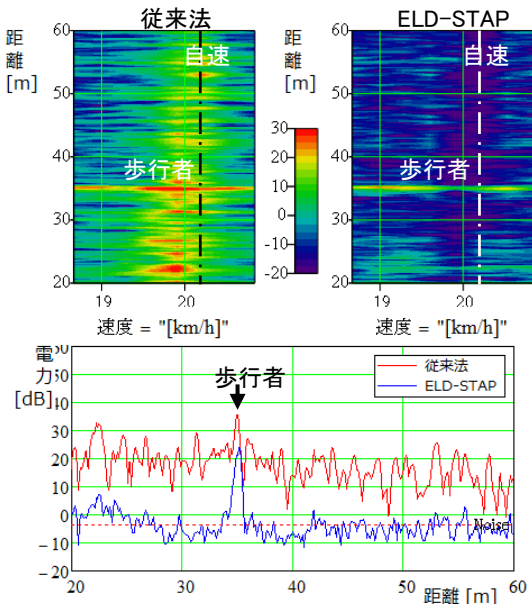
両側に植込



両側に植込、左側にガードレール



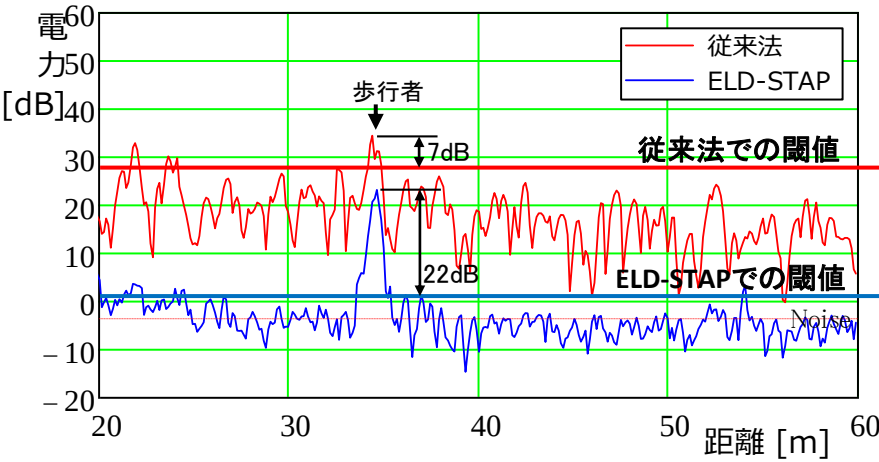
両側に植込、左側にガードレールと車両



■ 不要波抑圧の効果

- ・ クラッタ環境での目標探知距離劣化の抑制

クラッタ環境での歩行者データの一例



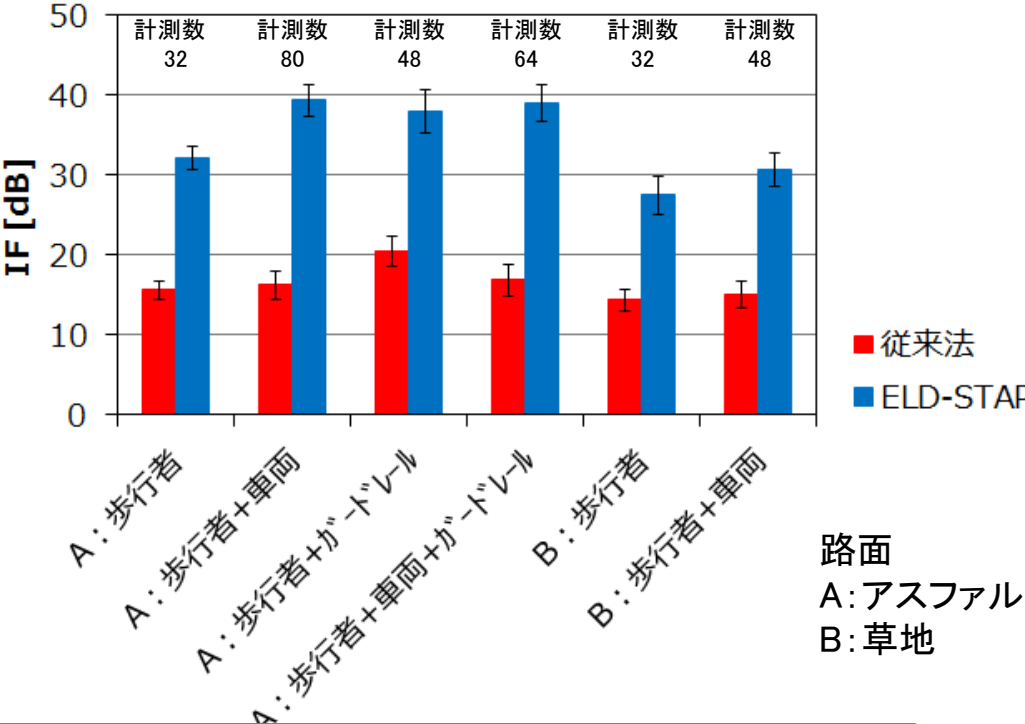
- 従来
 - 目標と検出閾値のレベル差: **7dB**
 - 探知距離: 52m
- ELD-STAP
 - 目標と検出閾値のレベル差: **22dB**
 - 探知距離: 124m

→従来法に比べ15dBの改善 距離差に換算して2.385倍

■ 評価試験に用いた計測環境と計測数

計測環境と計測数			
歩行者近傍	周囲環境	路面	計測数
なし	植込み	アスファルト	32
なし	植込み + ガードレール	アスファルト	80
車両	植込み	アスファルト	48
車両	植込み + ガードレール	アスファルト	64
なし	植込み	草地	32
車両	植込み	草地	48
総計測データ数			304

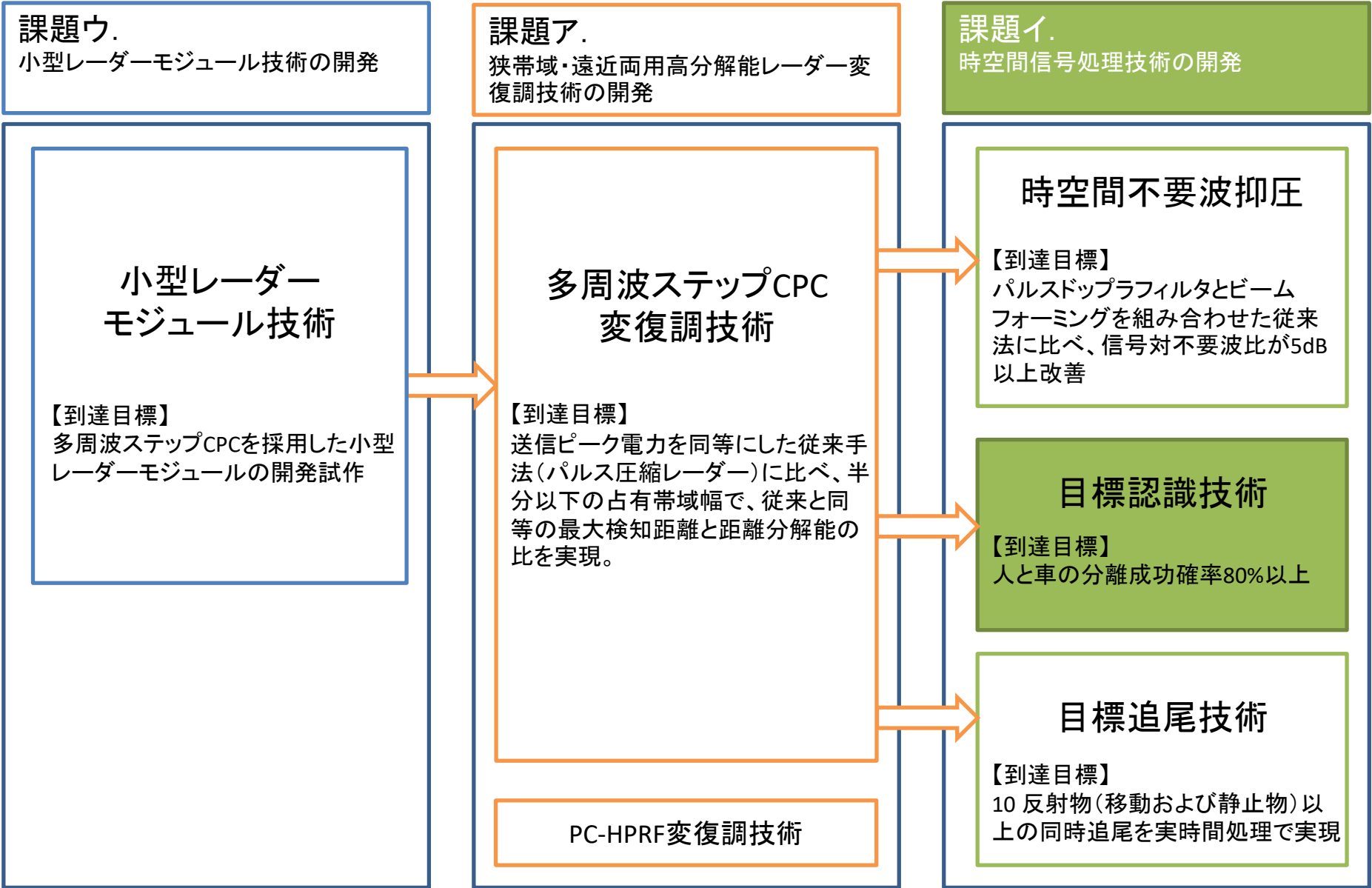
■ 計測環境に対するIF特性



- 従来法に比べIF値が15～23dB改善
- 歩行者近傍に反射の大きな車両やガードレールが有る場合についても、それらの影響を受けて抑圧性能が下がることはないことを確認

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

各技術課題の関係



課題Ⅰ. 技術課題と達成目標

Ⅰ 時空間信号処理技術の開発

(2) 目標認識技術の開発

レーダーを車載センサや踏切内の監視センサに適用する場合、自動で目標を検知できることに加え、検知される目標(自動車、人物、自転車、小動物等)を識別できるようにする必要がある。

自動検知前のレーダーの生の波形から目標の有無を自動判断して検知し、目標識別に適した特徴量を判定し、目標が何であるのかを認識する目標認識技術を開発する。

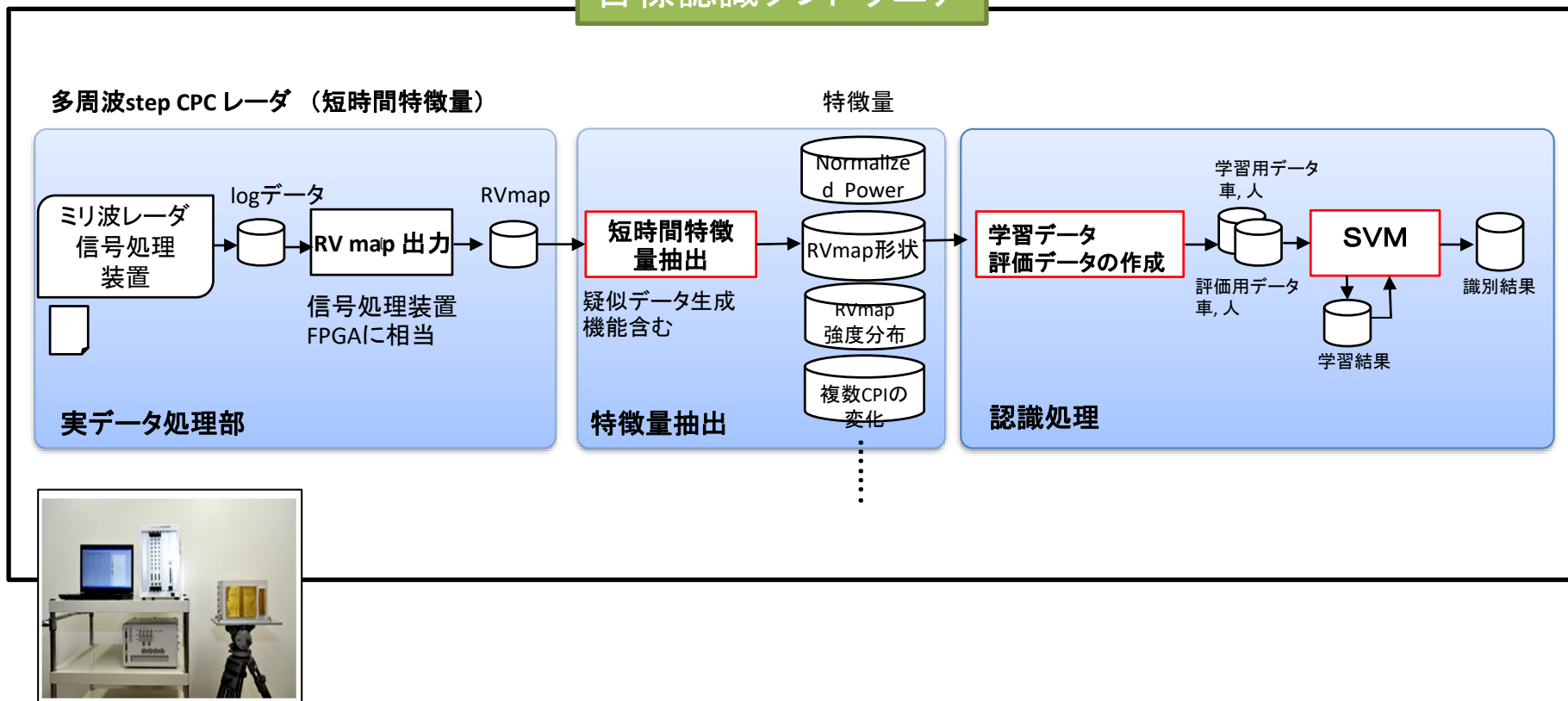
具体的には、レーダーの生波形から特徴量を抽出することで、車、人、自転車を分離する基礎技術を確立し、人と車の分離成功確率 80%以上を目標とする。

(2) 目標認識技術の開発 目標認識アルゴリズム

【開発成果】

多周波ステップCPCの出力信号から特徴量人物特徴量(胴体速度、ステップ周期等)、車(距離/速度分布等)を抽出し、目標認識を行うソフトウェアを開発

目標認識ソフトウェア



【到達目標】

人と車の分離成功確率 80%以上

【評価方法】

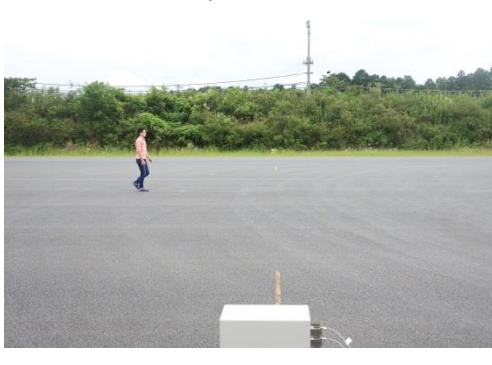
交差点等でのレーダ運用を想定し、人物および車両の横切り／対向等の条件において、多周波ステップCPCレーダ出力データを計測し、その信号から特徴量を抽出し正答率の評価を行う。

総合評価のための車両及び人データ取得

歩行人物対向



歩行人物横切り／対向



- 1 車載, 横切り車両(7)
- 2 静止, 横切り車両(6)
- 3 静止, 対向車両(6)
- 4 車載, 横切り歩行人物(2)
- 5 車載, 対向歩行人物(2)
- 6 静止, 対向歩行人物(43)
- 7 静止, 横切り歩行人物(3)

()内は取得計測数

車両対向

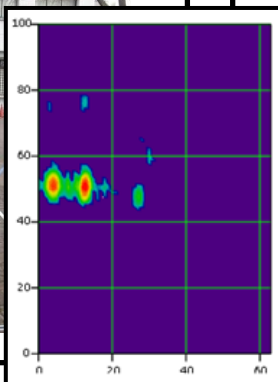
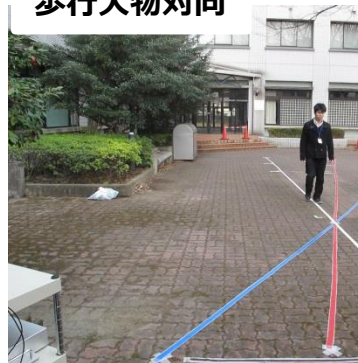


車両横切り



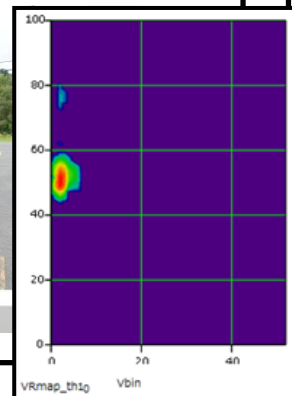
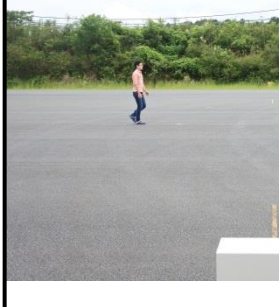
特徴量抽出・特性解析 例

歩行人物対向



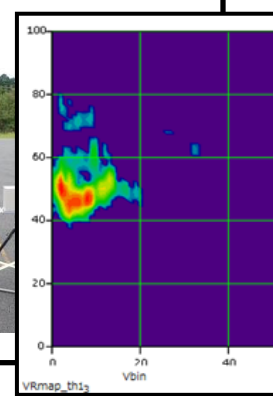
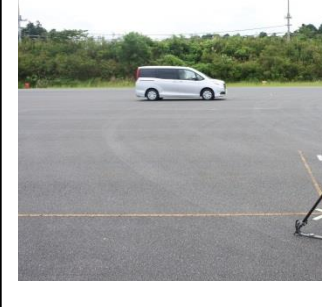
RVマップ出力例

歩行人物横切り



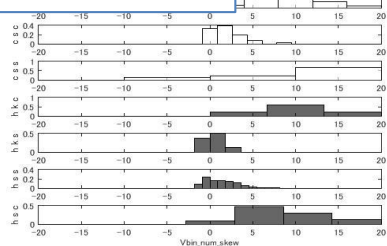
RVマップ出力例

車両横切り

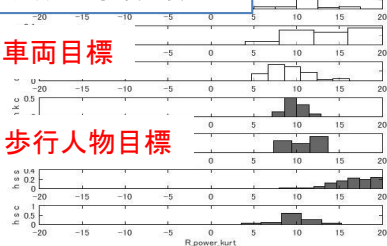


RVマップ出力例

速度方向ビン数歪度



距離方向強度尖度

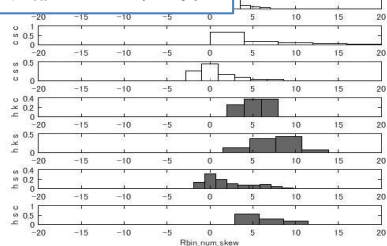


車両目標

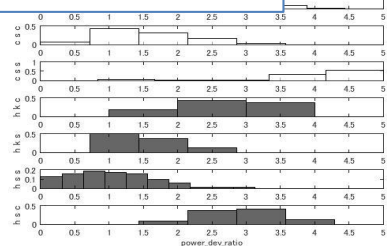
歩行人物目標

- 1 車載, 横切り車両
- 2 静止, 横切り車両
- 3 静止, 対向車両
- 4 車載, 横切り歩行人物
- 5 車載, 対向歩行人物
- 6 静止, 対向歩行人物
- 7 静止, 横切り歩行人物

距離方向ビン数歪度



強度分布の標準偏差比



評価試験として取得したデータに対し以ほぼ99%を超える正答率を達成

レーダ静止（計測数）データは計測数*8CPI		使用CPI数	2 次 SVM (%)
対向車両(6)	対向歩行人物(43)	1	99.8
		3	99.8
対向車両(6)	横切り歩行人物(3)	1	98.9
		3	98.9
横切り車両(6)	対向歩行人物(43)	1	98.6
		3	98.7
横切り車両(6)	横切り歩行人物(3)	1	97.7
		3	98.3
対向+横切り車両(12)	対向+横切り人物(46)	1	98.7
		3	98.9

レーダ車載（計測数）データは計測数*8CPI		使用CPI数	2 次 SVM (%)
横切り車両(7)	対向歩行人物(2)	1	100
		3	100
横切り車両(7)	横切り歩行人物(2)	1	99.1
		3	99.5
対向+横切り車両(9)	対向+横切り人物(4)	1	98.8
		3	99.0

レーダ静止+車載		使用CPI数	2 次 SVM (%)
対向+横切り車両(21)	対向+横切り人物(50)	1	98.0
		3	98.5

数字は正答率(車を車, 人を人と分類した確率の平均値)

評価試験として取得したデータに対し以下の認識率を達成したことを確認。

レーダ静止（計測数）データは計測数*8CPI		使用CPI数	2 次 SVM (%)
対向車両(6)	対向歩行人物(43)	1	99.8
		3	99.8
対向車両(6)	横切り歩行人物(3)	1	98.9
		3	98.9
横切り車両(6)	対向歩行人物(43)	1	98.6
		3	98.7
横切り車両(6)	横切り歩行人物(3)	1	97.7
		3	98.3
対向+横切り車両(12)	対向+横切り人物(46)	1	98.7
		3	98.9

レーダ車載（計測数）データは計測数*8CPI		使用CPI数	2 次 SVM (%)
横切り車両(7)	対向歩行人物(2)	1	100
		3	100
横切り車両(7)	横切り歩行人物(2)	1	99.1
		3	99.5
対向+横切り車両(9)	対向+横切り人物(4)	1	98.8
		3	99.0

レーダ静止+車載		使用CPI数	2 次 SVM
----------	--	--------	---------

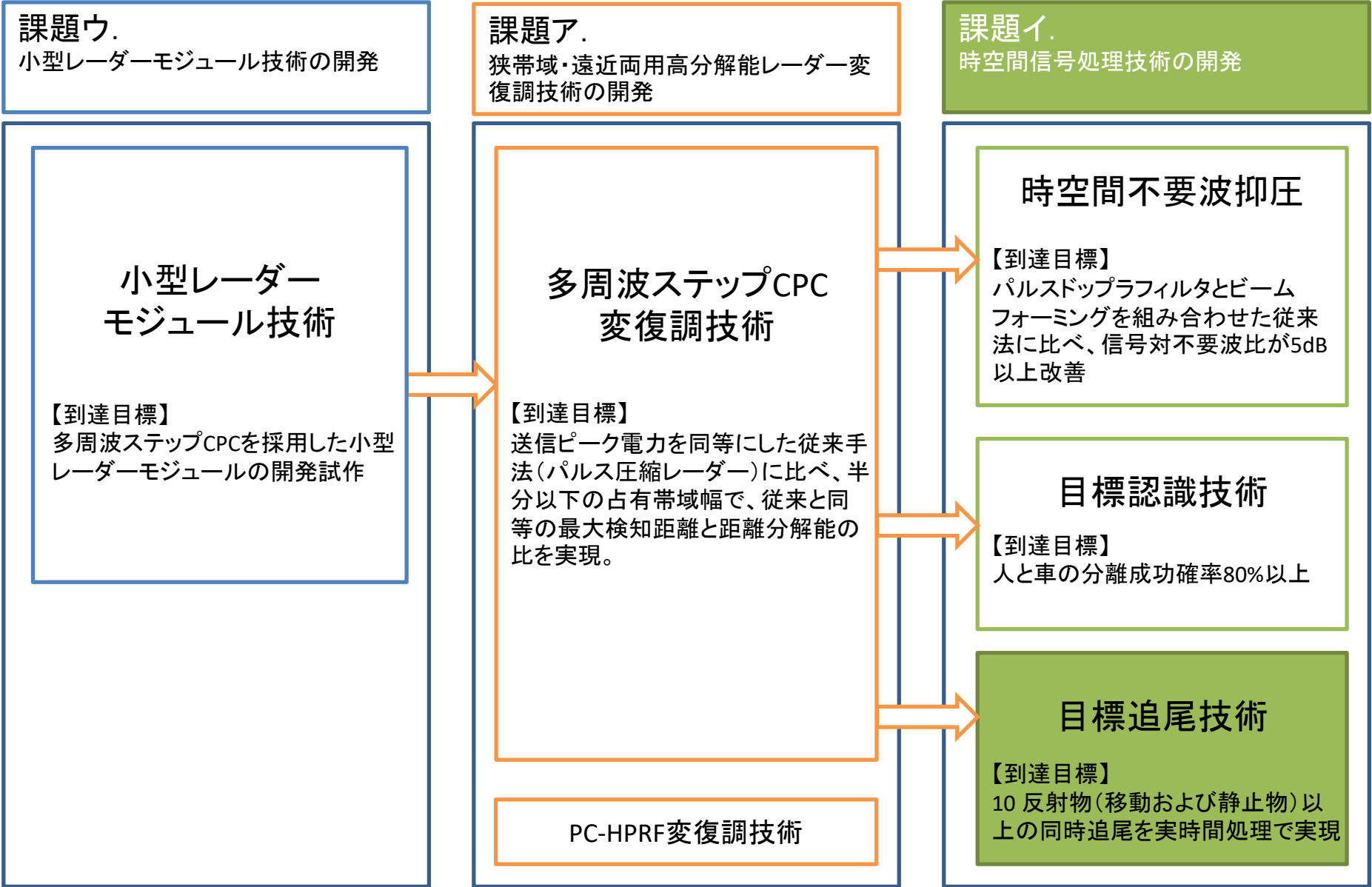
到達目標である「人と車の分離成功確率 80%以上」を確認

		3	98.5
--	--	---	------

数字は正答率(車を車, 人を人と分類した確率の平均値)

狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発

各技術課題の関係



課題Ⅰ. 技術課題と到達目標

Ⅰ 時空間信号処理技術の開発

(2) 目標追尾技術の開発

検知対象の目標をより高信頼性にて検知可能とするためには、**多数の検知目標が発生した状況でも対応可能な目標追尾技術の開発が必要となる。**

検知されたデータの時間方向の相関性から、将来位置の予測を行う目標追尾技術を開発する。

具体的には、実時間動作可能な高分解能遠近両用レーダー信号処理装置の出力である目標検知データを基に**10 反射物(移動および静止物)以上の同時追尾を実時間の処理で実現可能とする。**

【開発成果】

最適化目標追尾アルゴリズムの特徴

- 複数反射点を有する目標の追尾法の追加実装
ゲート幅の調整, 初期ゲーティング処理, 航跡選択処理
- 複数追尾フィルタ同時実行法の追加実装
追尾フィルタ選択方式および切り替え方式

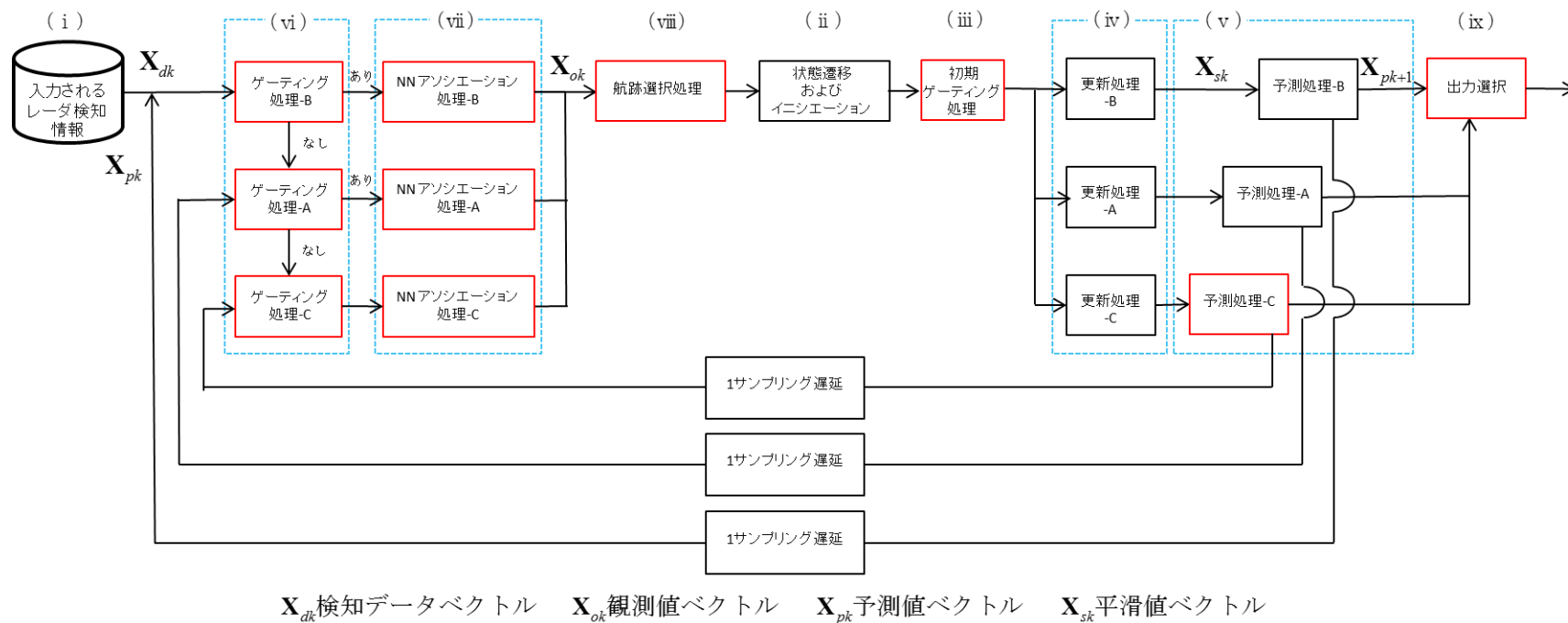


図 実装する目標追尾アルゴリズムのブロック図

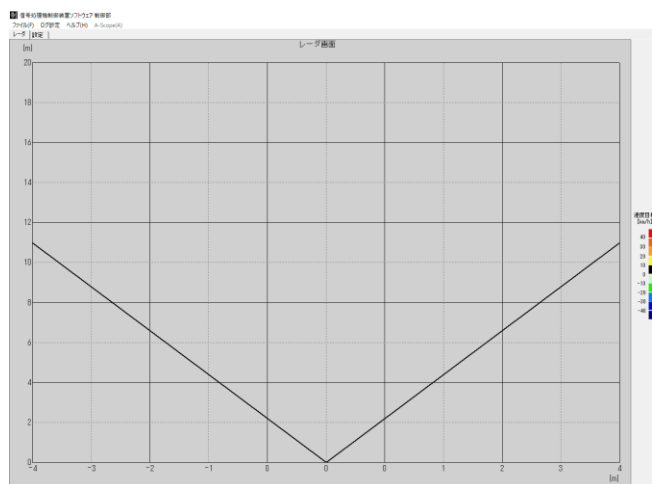
最適化目標追尾アルゴリズムのファームウェアの開発

【開発成果】

リアルタイム信号処理器

信号処理器制御装置

課題ウ
RF部



最適化目標追尾アルゴリズム
ファームウェア

【到達目標】

10反射物(移動および静止物)以上の同時追尾達成の確認

【評価方法】

一般道路では、定量評価(10目標)が困難なため、歩行者と静止したCR(コーナリフレクタ)の合計10目標の環境を構築し目標達成を検証

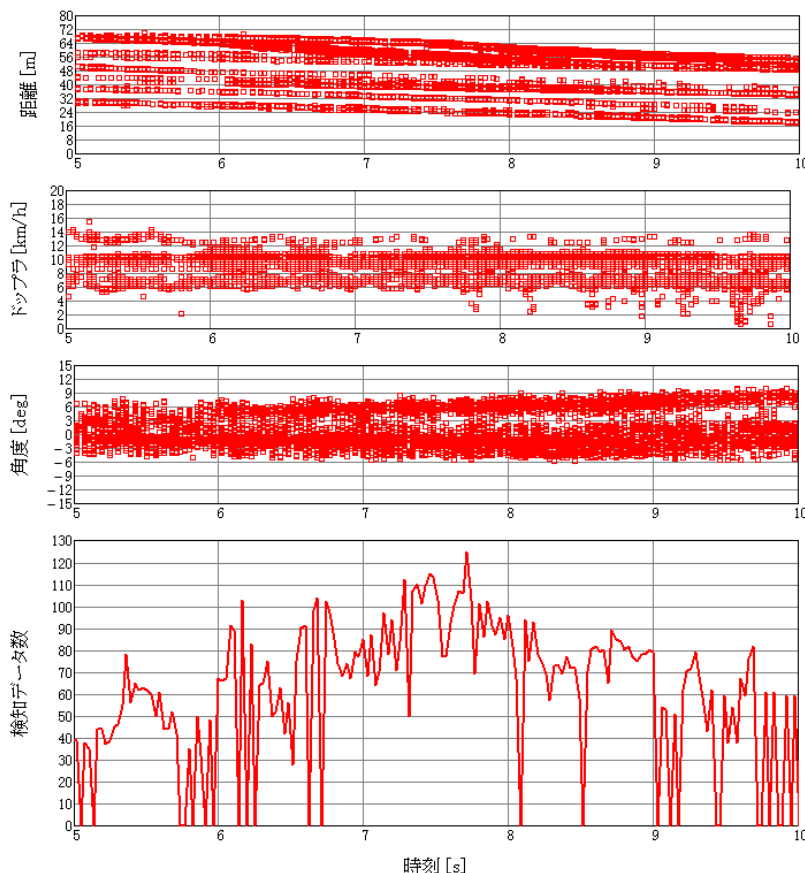


実験風景(10目標追尾試験)

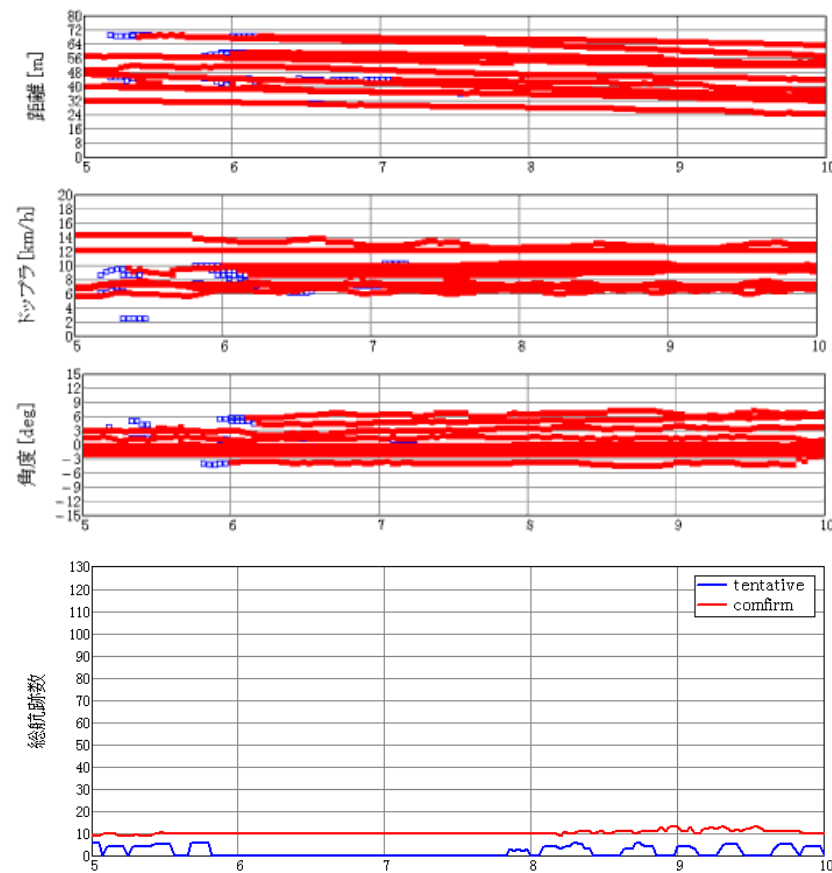
□ 10目標同時追尾の達成検証試験(基本計画書上の到達目標)

- 一般道路の試験では確認が困難な10目標同時追尾環境を構築し実施
- 10反射物(移動および静止物)以上の同時追尾達成の確認

検知データ



追尾結果



10反射物(移動および静止物)以上の同時追尾達成の確認

□一般道路(東八道路)における車両追尾試験

- 制作したファームウェアの実時間性の確認
- 実道路環境での車両追尾の検証
- 課題(ア)および課題(イ)の総合的な最終試験

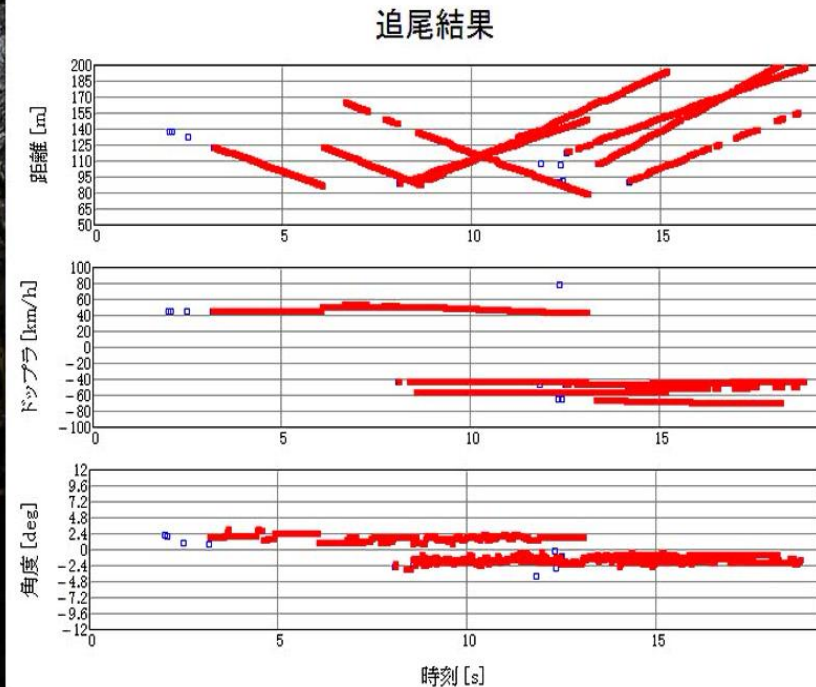


実験風景(実時間追尾計測)

一般道路でのビーム照射範囲内の自然交通車両に対し、有効に航跡を生成可能であり実用性能に優れることを確認



総合試験 例



左車線1台・右車線多数台通過

課題ア(1)多周波ステップCPC方式の開発

関連する学会発表実績等

査読付き誌上発表論文

- 渡辺優人,秋田学,稲葉敬之,"多周波ステップCPCレーダの提案と原理検証実験", 電気学会論文誌C, Vol. 135 (2015) No. 3,pp.285-291
- 渡辺優人, 稲葉敬之, "多周波ステップLFM方式におけるCMSE周波数ステップ", 電気学会論文誌C, Vol. 136 (2016) No.10, pp.1454- P1459.
- 渡辺優人,稲葉敬之,"レーダ測距方式比較検証のための24GHzソフトウェアレーダ", 計測自動制御学会論文集, vol.51,No.2,pp.120-127
- 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之,"多周波ステップCPCレーダの鉄道環境への応用のための基礎実験",電気学会論文誌D, Vol. 135 (2015) No. 5 P 513-520
- 秋田学, 新田大輔, 渡辺優人, 稲葉敬之, "等価時間サンプリング符号変調CW方式の提案", 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J98-B, No.10, pp.1155-1168, 2015-10.
- Manabu Akita, Daisuke Nakshima,Masato Watanabe, Takayuki Inaba,"A Feasibility Study on Multiple Frequency CW for Landing Radar",IEEJ Journal of Industry ApplicationsVol. 4, No.2, p.91-97, 2015
- 秋田学,山下 遼, 渡邊 俊人, 渡辺 優人, 稲葉 敬之,"多周波CW方式における速度・距離視野拡張法", 電気学会論文誌C, Vol. 136 (2016) No. 4,pp.532-541. 10)
- 渡辺優人, 稲葉敬之, "多周波ステップLFM方式におけるCMSE周波数ステップ", 電気学会論文誌C, Vol. 136 (2016) No.10, pp.1454- P1459.

課題ア(1)多周波ステップCPC方式の開発

関連する学会発表実績等

査読付き口頭発表論文

- ❑ Masato Watanabe, Manabu Akita, Takayuki Inaba, “Millimeter Wave Radar using Stepped Frequency Complementary Phase Code Modulation” Proceedings of ITS WORLD CONGRESS TOKYO 2013, 3132, Tokyo, Japan, Oct. 2013.
- ❑ Manabu Akita, Masato Watanabe, Takayuki Inaba, “A Study on Maximal Ratio Combining in Stepped Multiple Frequency CPC Radars for Multipath Fading, Proceedings of International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016 (IC-SANE 2016), pp.115-120, Taipei, Taiwan, Nov. 2016.
- ❑ Masato Watanabe, Manabu Akita, Takayuki Inaba, “Angle Estimation Method using Blocking Matrix in Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code Modulation”, Proceedings of International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016 (IC-SANE 2016), pp.121-126, Taipei, Taiwan, Nov. 2016.
- ❑ Manabu Akita, Masato Watanabe, Takayuki Inaba, “Experimental Comparison of Detection Range Performances between Stepped Multiple Frequency CPC and Pulse Compression”, 2017 International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM2017)
- ❑ Manabu Akita, Masato Watanabe, Takayuki Inaba, “Development of Millimeter Wave Radar using Stepped Multiple Frequency Complementary Phase Code and Concept of MIMO Configuration”, Radar Conference 2017

課題ア(1)多周波ステップCPC方式の開発

関連する学会発表実績等

□頭発表

- 山下遼, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCミリ波レーダにおける最尤推定法を用いた到来方向推定", 信学技報SANE2014-111, 2015
- 稲葉敬之, 渡辺優人, 渡辺一宏, 秋田学, "次世代高度運転支援システムのためのレーダ技術の研究開発", 2015年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, AS-1-2, 2015-09
- 秋田学, 梅村昇平, 渡辺優人, 稲葉敬之, "超分解能法を用いた多周波ステップCPC方式における近接角度分離法", 2015年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-2-25, 2015-09
- 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波不等間隔ステップCPC方式の距離サイドローブ特性", 信学技報SANE2015-90, vol. 115, no.403, pp.47-52, 2016
- 渡辺優人, 秋田学, 中村真帆, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCレーダを用いた目標車両位置・速度ベクトル推定法の検討", 2016年電子情報通信学会総合大会, B-2-36, 2016-03.
- 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, "完全相補符号を用いたMIMO多周波ステップCPCレーダの検討", 2016年電子情報通信学会総合大会, B-2-37, 2016-03.
- 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, "マルチパスフェージング対処のための空間・周波数ダイバーシチ効果の検討", 2016年電子情報通信学会総合大会, B-2-51, 2016-03.
- 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, "マルチパスフェージング対処のための多周波ステップCPC方式における最大比合成適用の一検討", 信学技報SANE2016-17, vol. 116, no.115, pp.43-48, 2016
- 秋田学, 太田裕也, 渡辺優人, 稲葉敬之, "多周波ステップCPC方式とパルス圧縮方式の探知距離性能比較実験", 信学技報SANE2016-49, vol. 116, no.252, pp.51-56, 2016
- 芝隆司, 安藤嘉章, 太田敏行, 坂本禎治郎, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "障害物回避時における多周波ステップCPC方式60GHzミリ波レーダーの目標マッププロファイル", 信学技報SANE2016-96, vol. 116, no.427, pp.1-6, 2017
- 太田裕也, 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, "多周波ステップCPC方式とパルス圧縮方式のS/N評価試験", 2017年電子情報通信学会総合大会, B-2-25, 2017-03.

課題ア(1)多周波ステップCPC方式の開発

関連する学会発表実績等

関連知財

- 稲葉敬之, 木島壮氏, 渡辺優人, 「レーダ装置」, 国立大学法人電気通信大学, 特許第5704552号, 2015/3/6 →多周波ステップCPCレーダの特許

受賞等

- 第32回電気通信普及財団賞テレコムシステム技術賞奨励賞, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, 2017/3
→多周波ステップCPCレーダの受賞
- 第72回電気学会電気学術振興賞論文賞, 秋田学, 中島大輔, 渡辺優人, 稲葉敬之, 2016/9
→多周波CWレーダの受賞

(受託前関連受賞)

- 2011 IEEE AES Japan Chapter Young Scientist Award, 渡辺優人, 2012/3(多周波ステップCPC関連受託前)
→多周波ステップCPCレーダの受賞
- IEEE AES Japan-chapter 優秀論文賞, 稲葉敬之, 千葉勇, 2008/3(多周波ステップCPC関連受託前)
- 電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞受賞論文, 稲葉敬之, 2006/9(多周波ステップCPC関連受託前)
→多周波ステップICWレーダの受賞

課題ア(2)PC-HPRF方式の研究開発

関連する学会発表実績等

査読付き誌上発表論文

- 渡辺優人,秋田学,稲葉敬之, UWBインパルスレーダにおけるパルス間符号変調による遠距離性の改善, 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J97-B,No.7,pp.556-564,2014

→PC-HPRFの論文

査読付き口頭発表論文

- Takashi Shiba, Masato Watanabe, Masahiko Ishii, Manabu Akita, Takayuki Inaba, Nonlinear Effects for Sidelobe Characteristics of Pulse Radars, Proceedings of IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), 2017 .

口頭発表

- 渡辺優人, 山下遼, 秋田学, 稲葉敬之, Ipatov完全周期符号の距離・ドップラ特性, 信学技報SANE2014-110, 2015.
- 芝隆司、渡辺優人、石井雅博、秋田学、稲葉敬之, PC-HPRF方式多重化のための非周期相関低サイドローブ複素符号, 信学技報 SANE2015-48, 2015.
- 芝隆司、渡辺優人、石井雅博、秋田学、稲葉敬之, PC-HPRF方式レーダー用RFシミュレーションの開発, 信学技報 MW2015-134, 2015.
- 芝隆司、渡辺優人、石井雅博、秋田学、稲葉敬之, PC-HPRF方式レーダーのアンテナ信号に対する完全周期符号を用いた符号多重化方式, 信学技報 SANE2015-91, 2016.
- 芝 隆司、渡辺 優人、石井 雅博、秋田 学、稲葉 敬之, PC-HPRF方式79GHzミリ波レーダー実験用試作機の開発, 信学技報 SANE2016-113, 2017.

受賞等

- IEEE AES Japan Chapter優秀論文賞, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, 2016/3

→PC-HPRFレーダの受賞

- APSAR 2013 Student Paper Award, 渡辺優人, 2013/9

→PC-HPRFレーダの受賞

課題イ(1)不要波抑圧時空間信号処理技術の開発

関連する学会発表実績等

□頭発表

- 渡辺一宏, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPC方式におけるドップライメージングの任意時刻合焦と高速化の検討", 信学技報SANE2016-118, vol. 116, no.469, pp.1-6, 2017
- 渡辺一宏, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCLレーダによるELD-STAPのフィールド実験とクラッタ抑圧性能評価", 信学技報SANE2016-97, vol. 116, no.427, pp.7-12, 2017
- 稲葉敬之, 渡辺優人, 秋田学, 渡辺一宏, "次世代車載ミリ波レーダに向けた変復調方式・信号処理技術", MWE 2016, FR2A-2, 2016
- 渡辺一宏, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPC方式におけるドップライメージングの高精度化の検討", 信学技報SANE2016-16, vol. 116, no.115, pp.37-42, 2017
- 渡辺一宏, 横川貴洋, 高橋陸, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "各種環境での多周波ステップCPCLレーダを用いた計測実験とELD-STAPの特性評価", 信学技報SANE2015-93, vol. 115, no.403, pp.65-70, 2016
- 横川貴洋, 高橋陸, 渡辺一宏, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCLレーダに対する周波数ステップ対応ドップラ補正適用によるELD-STAP性能への影響の評価", 信学技報SANE2015-94, vol. 115, no.403, pp.71-76, 2016
- 稲葉敬之, 渡辺優人, 渡辺一宏, 秋田学, "次世代高度運転支援システムのためのレーダ技術の研究開発(招待講演)", 2015年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, AS-1-2, 2015
- 高橋陸, 横川貴洋, 渡辺一宏, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "ELD-STAPによる信号対路面反射クラッタ比の改善", 信学技報SANE2015-23, vol. 115, no. 155, 2015
- 横川貴洋, 高橋陸, 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "車載ミリ波レーダにおける路面反射クラッタ距離分布特性とELD-STAPによるその抑圧", 信学技報SANE2014-111, vol. 114, no.397, pp.35-40, 2015

課題Ⅰ(2) 目標認識技術の開発

関連する学会発表実績等

口頭発表

- 中村真帆, 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, 2周波CWレーダを用いた人物等認識における各種アルゴリズムの適用評価, 2016年電子情報通信学会総合大会, B-2-35, 2016-03.
- 中村真帆, 渡辺一宏, 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, 多周波ステップCPCLレーダを用いた歩行人物認識のための短時間特徴量, 電子情報通信学会 総合大会, 2017, 3月(発表予定).
- 中村真帆, 渡辺一宏, 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, 多周波ステップCPCLレーダ及び機械学習アルゴリズムを用いた車両と歩行人物認識のための短時間特徴量, 信学技報, SANE2016-119(2017-02).
- 中村真帆, 渡辺一宏, 秋田学, 渡辺優人, 稲葉敬之, 多周波ステップCPCLレーダ及び機械学習アルゴリズムを用いた車両と歩行人物認識のための短時間特徴量と認識評価, 信学技報, SANE2016-83(2017-03).
- 秋田学, 中村真帆, 渡辺優人, 稲葉敬之, 2周波CWレーダを用いた歩行人物・小動物の特徴量抽出実験, 信学技報, SANE2016-84(2017-03).

課題Ⅰ(3)多目標追尾技術の開発

関連する学会発表実績等

査読付誌上発表論文

- 小菅義夫, "位置及び速度を観測値とする九次元カルマンフィルタの過渡応答", 電子情報通信学会論文誌(B), vol. J97-B, no.7, pp.565-573, 2014
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "位置と速度を観測値とする位置の n 階微分値を一定とする追尾フィルタの過渡応答", 信学論(B), vol. J98-B, no. 11, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "距離とドップラーを観測値とするテイラー級数推定法を用いた三次元の位置及び速度推定の解析", 信学論(B), vol. J98-B, no. 8, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "位置・速度を観測値とした過渡応答用の等加速度運動モデル非干渉形フィルタ", 信学論(B), vol. J98-B, no. 5, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "ドップラー観測値を併用するTDOAの位置・速度推定", 信学論(B), vol. J99-B, no. 3, 2016
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "位置と速度を観測値とする位置の n 階微分値を一定とする追尾フィルタの過渡応答", 信学論(B), vol. J98-B, no. 11, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "距離とドップラーを観測値とするテイラー級数推定法を用いた三次元の位置及び速度推定の解析", 信学論(B), vol. J98-B, no. 8, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "位置・速度を観測値とした過渡応答用の等加速度運動モデル非干渉形フィルタ", 信学論(B), vol. J98-B, no. 5, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "ドップラー観測値を併用するTDOAの位置・速度推定", 電子情報通信学会論文誌(B), vol. J99-B, no. 3, 2016.
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "テイラー級数推定法を用いたTSOAによる測位法の性能", 信学論(B) vol.J99-B No.10, 2016
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "ドップラー観測値併用のTOAとTDOA測位精度の同一性", 信学論(B), Vol.J99-B, No.12, pp.1087-1099, 2016
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎 裕己, 秋田 学, 稲葉敬之, "六次元運動モデルを使用したパルスドップラーレーダー用 追尾フィルタの初期値", 信学論(B), Vol.J100-B, No.1, pp.21-29, 2017

課題イ(3)多目標追尾技術の開発

関連する学会発表実績等

□頭発表論文

- Yoshio KOSUGE, Tadashi KOGA, Hiromi MIYAZAKI, "Manabu AKITA and Takayuki INABA, A Measure of Estimated Accuracy Using Singular Values for TOA Location System" ICSANE2014-82(ICSANE2014), Oct. 2014
- 瀬楽瑞樹, 秋田学, 小菅義夫, 稲葉敬之, "車載レーダ用目標追尾における半干渉形フィルタの基礎検討", 信学技報SANE2014-113, 2015-1
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "TOA測位とTDOA測位の関連", 信学技報, SANE2014-125, pp.73-78, 2015-01
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "TOA測位とTDOA測位の関連", 信学技報, SANE2014-125, pp.73-78, 2015-01
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之: "ドップラー観測の場合のTOA測位性能", No. B-2-6, 信学会総合大会, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之: "ドップラー観測の場合のTDOA測位性能", No. B-2-15, 信学会ソサイエティ大会, 2015
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "距離とドップラーを観測値とする位置及び速度推定", 信学技報SANE2015-92, vol. 115, no. 403, pp. 59-64, 2016
- 瀬楽瑞樹, 秋田学, 小菅義夫, 稲葉敬之, "複数反射点を有する目標に対する車載レーダー追尾のフィールドデータ解析", 信学技報SANE2015-88, vol. 115, no.403, pp.35-40, 2016
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "距離, 角度, ドップラーを観測値とするレーダ用の等速直線運動モデルを使用した追尾フィルタの初期値", 信学技報, vol. 116, no. 199, pp. 7-14, 2016
- 小菅義夫, 古賀禎, 宮崎裕己, 秋田学, 稲葉敬之, "テイラー級数推定法を用いたTSOAとTDOA測位の関連", No.B-2-24, 信学会ソサイエティ大会, 2016
- 角田智広, 秋田学, 藤村嘉一, 小菅義夫, 稲葉敬之 "車載レーダ用追尾における複数フィルタの同時実行法", No.B-2-12, 信学会ソサイエティ大会, 2016
- 角田智広, 藤村嘉一, 秋田学, 小菅義夫, 稲葉敬之, "車載レーダ用追尾における複数フィルタの同時実行法 ～ シミュレーションによる性能評価 ～", 信学技報, vol. 116, no. 427, pp. 47-52, 2016

課題ウ小型レーダモジュールの開発

関連する学会発表実績等

査読付き口頭発表論文

- 川崎健, 大塚晃, 久保田幹, 徳満恒雄, 荻田省一, "A Phase Noise Improvement of 19 GHz VCO with Use of Feedback Coupled-Line Resonator", Proceedings of the 45th European Microwave Conference, 2015
- 塚島光路, 姉川修, 川崎健, 大塚晃, 久保田幹, 徳満恒雄, 荻田省一 "Transceiver MMIC's for Street Surveillance Radar", European Microwave Week 2016
- 姉川修, 塚島光路, 川崎健, 久保田幹, 徳満恒雄, 荻田省一 "A WLCSP 79-GHz Band Harmonic Mixer with High LO-Leakage Suppression", 2016 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, 2016

口頭発表

- 小河昇平, 山田雅也, 谷本雄大, インフラレーダを想定した76GHz 帯電波伝搬特性の調査, 電子情報通信学会総合大会, 2016
- 姉川修, 大塚晃, 川崎健, 塚島光路, 久保田幹, 荻田省一, 路上監視レーダ向け送受信用ミキサ, 電子情報通信学会総合大会, 2016
- 川崎 健, 大塚晃, 姉川修, 塚島光路, 久保田幹, 徳満恒雄, 荻田省一, フィードバック結合ライン共振器を用いた19 GHz VCO, , 電子情報通信学会総合大会, 2016
- 小河昇平, 山田雅也, 谷本雄大, 稲葉敬之 "多周波ステップCPC方式のための76GHz帯レーダ無線部開発", 電子情報通信学会総合大会, 2017
- 福永貴徳, 高野豊久, 山岸傑, "車両検知レーダーを想定した76GHz帯パッチアンテナに関する一検討", 電子情報通信学会総合大会, 2017
- 姉川修, 川崎健, 塚島光路, 久保田幹, 徳満恒雄, 荻田省一, "路上監視レーダ向け高調波ミキサの小型化", 電子情報通信学会総合大会, 2017

申請特許リスト

- 福永貴徳, 山岸傑, アンテナ及びレーダ, 日本国, 2016年10月21日
- 姉川修, マーチャントバルン, 日本, 2016年10月20日
- 谷本雄大, 電波センサおよび検知方法, 日本, 2016年11月11日