

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7471687号
(P7471687)

(45)発行日 令和6年4月22日(2024.4.22)

(24)登録日 令和6年4月12日(2024.4.12)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 1 S	1/18 (2006.01)	G 0 1 S	1/18	
H 0 1 Q	21/08 (2006.01)	H 0 1 Q	21/08	
B 6 4 D	45/04 (2006.01)	B 6 4 D	45/04	B
請求項の数 38 (全62頁)				
(21)出願番号	特願2022-528550(P2022-528550)	(73)特許権者	522189698	
(86)(22)出願日	令和2年11月13日(2020.11.13)		タレス ユーエスエー、インコーポレイ	
(65)公表番号	特表2023-520275(P2023-520275		テッド	
	A)		THALES USA, INC.	
(43)公表日	令和5年5月17日(2023.5.17)		アメリカ合衆国, 2 2 2 0 2 バージニ	
(86)国際出願番号	PCT/US2020/060453		ア, アーリントン, スイート 1 2 0 0	
(87)国際公開番号	WO2021/097238		, サウス クリスタル ドライブ 2 7 3 3	
(87)国際公開日	令和3年5月20日(2021.5.20)		2 7 3 3 South Crystal	
審査請求日	令和4年7月6日(2022.7.6)		Drive, Suite 1200,	
(31)優先権主張番号	63/037,895		Arlington, Virginia	
(32)優先日	令和2年6月11日(2020.6.11)		2 2 2 0 2 (US)	
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100180781	
(31)優先権主張番号	62/936,065		弁理士 安達 友和	
(32)優先日	令和1年11月15日(2019.11.15)	(72)発明者	ファーラ, マッシリアノ	
	最終頁に続く		イタリア国, 2 6 0 1 0 クレデーラ,	
			最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 省スペース型の航空機精密アプローチ及び着陸システムのためのアンテナ及びグライド・パス・アレイ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のアンテナと、
複数のアンテナ無線ユニット（ARU）であって、該各ARUが、ローカルRF発振回路を備え、送信のために、前記複数のアンテナのうちの別の1つに提供される変調RF信号を発生するように動作する、複数のARUと、
送信のために、前記ARUによって前記複数のアンテナに提供された前記変調RF信号間の同期を調整するために、前記ARUを制御するように動作する中央処理ユニットと、
を備え、
前記中央処理ユニットが、複数のケーブルの各々を介して複数の前記ARUのうちの別の複数のに接続され、前記変調RF信号を発生する前記ARUのために、該ケーブルを介して信号を提供し、
前記中央処理ユニットが、前記中央処理ユニットと前記各ARUとの間のケーブル信号遅延を測定し、更に該ケーブル信号遅延の前記測定に基づいて、送信のために、前記ARUによって前記複数のアンテナに提供された前記変調RF信号間の同期を調整するように動作する、計器着陸システム（ILS）。

【請求項2】

前記中央処理ユニットが、送信のために、前記ARUによって前記複数のアンテナに提供された前記変調RF信号間の搬送波周波数及び位相の同期を調整するために、前記ARUを制御するように動作する、請求項1に記載のILS。

【請求項 3】

前記中央処理ユニットが、送信のために、前記 A R U によって前記複数のアンテナに提供された前記変調 R F 信号間の閾値 R F 偏差以下を有するように搬送波位相拡散の同期を調整するために、前記 A R U を制御するように動作する、請求項 2 に記載の I L S。

【請求項 4】

前記各 A R U が、送信のために、前記変調 R F 信号のうちの 1 つを前記複数のアンテナのうちの 1 本のみに提供するために、前記複数のアンテナのうちの 1 本のアンテナに直接接続される、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の I L S。

【請求項 5】

前記各ローカル R F 発振回路が、前記中央処理ユニットによって提供される基準発振信号に位相ロックするように動作する、請求項 4 に記載の I L S。

10

【請求項 6】

前記中央処理ユニットが、前記基準発振信号と前記各ローカル R F 発振回路の信号との間の位相調整の比較に基づいて、前記中央処理ユニットと前記各 A R U との間の前記ケーブル信号遅延を測定するように動作する、請求項 5 に記載の I L S。

【請求項 7】

前記各ローカル R F 発振回路が、温度補償水晶発振 (T C X O) によって駆動され、該 T C X O が、前記各 A R U の内部にあり、位相ロックループ (P L L) によって制御され、該 P L L が、前記中央処理ユニット内部の T C X O から前記中央処理ユニットによってブロードキャストされた同期信号にロックされる、ローカル R F 発振回路であり、

20

前記中央処理ユニットが、1 個の A R U の前記 T C X O が保持状態でフリーズされる規定のタイムスロット期間の間、前記 1 個の A R U の前記 T C X O を周期的に停止するように動作し、

前記 1 個の A R U の前記 T C X O がフリーズされている間、前記中央処理ユニットが、前記中央処理ユニットの内部の前記 T C X O と、前記 1 個の A R U の内部の前記 T C X O からケーブルを介して前記中央処理ユニットに送信された信号との間の位相差を測定するように動作する、請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の I L S。

【請求項 8】

前記各ローカル R F 発振回路が、前記中央処理ユニットによってブロードキャストされる共通の T C X O にロックされる搬送波周波数の決定論的分周逓倍を出力するように動作する、請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の I L S。

30

【請求項 9】

前記各 A R U が、
変調 R F 信号を送信するように動作する送信機回路と、
前記送信機回路によって送信された前記変調 R F 信号の同期を制御するように動作する送信機同期回路と、
変調 R F 信号を受信するように動作する受信機回路と、
前記受信機回路によって受信された前記変調 R F 信号の同期を制御するように動作する受信機同期回路と

を備える、請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の I L S。

40

【請求項 10】

前記中央処理ユニットが、前記各 A R U 内の前記送信機回路間の搬送波周波数及び位相の同期を調整するように動作する、請求項 9 に記載の I L S。

【請求項 11】

前記各 A R U が、プログラマブル搬送波周波数及びプログラマブル構成値において変調無線周波数信号を発生するように動作するソフトウェア無線である、請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の I L S。

【請求項 12】

前記プログラマブル構成値が、R F 電力、R F 位相、変調深度、及び位相のうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 11 に記載の I L S。

50

【請求項 13】

複数のアンテナと、

複数のアンテナ無線ユニット（ARU）であって、該各ARUが、ローカルRF発振回路を備え、送信のために、前記複数のアンテナのうちの別の1つに提供される変調RF信号を発生するように動作する、複数のARUと、

送信のために、前記ARUによって前記複数のアンテナに提供された前記変調RF信号間の同期を調整するために、前記ARUを制御するように動作する中央処理ユニットと、を備え、

前記各ローカルRF発振回路が、温度補償水晶発振（TCXO）によって駆動され、該TCXOが、前記各ARUの内部にあり、位相ロックループ（PLL）によって制御され、該PLLが、前記中央処理ユニット内部のTCXOから前記中央処理ユニットによってブロードキャストされた同期信号にロックされる、ローカルRF発振回路であり、

前記中央処理ユニットが、1個のARUの前記TCXOが保持状態でフリーズされる規定のタイムスロット期間の間、前記1個のARUの前記TCXOを周期的に停止するように動作し、

前記1個のARUの前記TCXOがフリーズされている間、前記中央処理ユニットが、前記中央処理ユニットの内部の前記TCXOと、前記1個のARUの内部の前記TCXOからケーブルを介して前記中央処理ユニットに送信された信号との間の位相差を測定するように動作する、ILS。

【請求項 14】

複数のアンテナと、

複数のアンテナ無線ユニット（ARU）であって、該各ARUが、ローカルRF発振回路を備え、送信のために、前記複数のアンテナのうちの別の1つに提供される変調RF信号を発生するように動作する、複数のARUと、

送信のために、前記ARUによって前記複数のアンテナに提供された前記変調RF信号間の同期を調整するために、前記ARUを制御するように動作する中央処理ユニットと、を備え、

前記中央処理ユニットが、前記各ARUに2つの周波数信号を提供し、該信号が、ケーブルを介して提供され、該ケーブルの各々が、前記中央処理ユニットを複数の前記ARUのうちの別の1つにそれぞれ接続し、前記中央処理ユニットが、前記2つの周波数信号を合成して、前記中央処理ユニットでの動作周波数信号を提供し、

前記各ARUが、前記2つの周波数信号を共に混合して、前記動作周波数信号を取得し、前記動作周波数信号が、2で除算されて、リターン信号を発生し、該リターン信号が、それぞれの前記ケーブルを介して制御ユニット前記中央処理ユニットに戻され、

前記各ARUの各々について、前記制御ユニット前記中央処理ユニットが、前記各ARUから前記リターン信号を受信し、前記ARUからの前記リターン信号の位相と、前記中央処理ユニットでの前記動作周波数信号とを比較し、該位相比較に基づいて前記ARUの同期を調整する、ILS。

【請求項 15】

前記複数のアンテナが、アンテナのグライド・パス・アレイ及びアンテナのローカライザアレイを備え、

前記グライド・パス・アレイの各アンテナ及び前記ローカライザアレイの各アンテナが、複数の前記ARUのうちの別の1つによって駆動される、請求項1～14のいずれか1項に記載のILS。

【請求項 16】

前記各ARUが、プログラマブル搬送波周波数及びプログラマブル構成値において変調無線周波数信号を発生するように動作するソフトウェア無線である、請求項15に記載のILS。

【請求項 17】

前記プログラマブル構成値が、RF電力、RF位相、変調深度、及び位相のうちの少な

10

20

30

40

50

くとも1つを含む、請求項16に記載のI L S。

【請求項18】

前記アンテナのグライド・パス・アレイが、少なくとも4素子水平アレイを提供するために、水平方向に離隔して配置された少なくとも4個のアンテナ素子を備える、請求項15～17のいずれか1項に記載のI L S。

【請求項19】

前記グライド・パス・アレイの前記アンテナの外側のペアが、搬送波側波帯のみ（S B O）信号で駆動され、前記グライド・パス・アレイの前記アンテナの内側のペアが、搬送波プラス側波帯（C S B）信号で駆動される、請求項18に記載のI L S。

【請求項20】

前記アンテナのグライド・パス・アレイが、少なくとも10素子水平アレイを提供するために、水平方向に離隔して配置された少なくとも10個のアンテナ素子を有する、請求項18に記載のI L S。

【請求項21】

前記A R Uが、方位角の範囲にわたってほぼ平坦なグライドパス角度を提供するように制御される、各アンテナのC S B電力及びS B O電力並びに位相を使用して、前記アンテナを駆動するように動作する、請求項20に記載のI L S。

【請求項22】

前記A R Uが、純粋なフライアップ信号を生成し、150 H zのみで変調され、周波数が5 k H z オフセットされた別個の搬送波信号であるクリアランス信号（C L R）で、前記アンテナを駆動するように動作し、前記中央処理ユニットが、前記各A R Uの前記C L Rを個別に調整するように動作する、請求項15～21のいずれか1項に記載のI L S。

【請求項23】

前記クリアランス信号（C L R）電力が、前記方位角の範囲内の方位角については前記グライド・パス・アレイの前記アンテナによって送信されるグライド・パス・コース信号のものよりも小さく、前記方位角の範囲外の方位角については前記グライド・パス・コース信号よりも大きくなるように、前記C L Rの放射パターンが、前記中央処理ユニットの制御によって成形される、請求項22に記載のI L S。

【請求項24】

前記アンテナのグライド・パス・アレイが、垂直方向に離隔して配置された少なくとも3個のアンテナ素子を備える、請求項15～23のいずれか1項に記載のI L S。

【請求項25】

前記アンテナのグライド・パス・アレイが、ヌル基準及びmタイプ・グライド・パス・アレイのうちの1つを備える、請求項1～24のいずれか1項に記載のI L S。

【請求項26】

前記アンテナのグライド・パス・アレイが、非画像化グライド・パス・アレイを備える、請求項1～25のいずれか1項に記載のI L S。

【請求項27】

前記中央処理ユニットが、
個々の前記A R Uのうちの1つ又は複数から受信した測定R Fパラメータに基づいて、飛行中の航空機によって受信された、変調深度（D D M）信号及び／又は変調深度の和（S D M）を合成し、更に、

前記D D M信号及び／又はS D M信号と、個々の前記A R Uの1つ又は複数の構成されたR Fパラメータとの比較に基づいて、前記合成したD D M信号及び／又はS D M信号のうちの1つが、所定の閾値を満たすか又は超えるか否かを判定する

ように更に動作する、請求項1～26のいずれか1項に記載のI L S。

【請求項28】

前記合成したD D M信号及び／又はS D M信号のうちの1つが、所定の閾値を満たした又は超えたという判定にตอบสนองして、前記中央処理ユニットが、前記複数のA R Uの動作を停止するように更に動作する、請求項27に記載のI L S。

10

20

30

40

50

【請求項 29】

前記合成したDDM及び／又はSDM信号が、所定の閾値を満たさない又は超えないという判定にตอบสนองして、前記中央処理ユニットが、前記複数のARUの動作を継続するように更に動作する、請求項27に記載のILS。

【請求項 30】

前記複数のARUのうちの各ARUが、

前記ARUに関連付けられた前記複数のアンテナのうちの1個のアンテナに提供された前記変調RF信号を受信し、更に、

前記変調RF信号と、前記ARUの1つ又は複数の信号パラメータとの比較に基づいて、前記変調RF信号のうちの1つが、所定の閾値を満たすか、又はそれを超えるか否かを判定する

10

ように更に動作する、請求項1～26のいずれか1項に記載のILS。

【請求項 31】

前記変調RF信号のうちの1つが、所定の閾値を満たした又は超えたという判定に基づいて、前記変調RF信号のうちの1つが、所定の閾値を満たした又は超えたという指示を含む通知を、前記複数のARUのうちの各ARUが、前記中央処理ユニットに送信するように更に動作する、請求項30に記載のILS。

【請求項 32】

中央処理ユニットが、前記通知に基づいて、前記複数のARUのうちの1つ又は複数の動作を継続するか否かを判定するように更に動作する、請求項31に記載のILS。

20

【請求項 33】

前記ILSが、

前記複数のアンテナによって放射されたRF信号を受信するように動作するモニタARUを更に備える、請求項1～26のいずれか1項に記載のILS。

【請求項 34】

前記複数のアンテナによって放射された前記RF信号が、ILSシステムから、飛行中の航空機によって受信されるべき期待DDM信号及び／又はSDM信号と整列しているか否かを判定するように、前記モニタARUが更に動作する、請求項33に記載のILS。

【請求項 35】

前記複数のアンテナによって放射された前記RF信号が、前記ILSシステムから、飛行中の航空機によって受信されるべき期待DDM信号及び／又はSDM信号と整列していないという判定にตอบสนองして、前記モニタARUが、前記複数のアンテナによる前記RF信号の放射の停止を開始するように、更に動作する、請求項34に記載のILS。

30

【請求項 36】

前記複数のアンテナによって放射された前記RF信号が、前記ILSシステムの較正プロセス中に放射された以前のRF信号から、所定の閾値内で逸脱しているという判定にตอบสนองして、前記モニタARUが、前記複数のアンテナによる前記RF信号の放射の再較正を開始するように、更に動作する、請求項34に記載のILS。

【請求項 37】

前記ケーブルが光ファイバケーブルを備え、

40

前記中央処理ユニットが、前記光ファイバケーブルを介して送信される光同期信号を使用して、送信のために、前記ARUによって前記複数のアンテナに提供された前記変調RF信号間の同期を調整するために、前記ARUを制御するように更に動作する、請求項1～14のいずれか1項に記載のILS。

【請求項 38】

前記中央処理ユニットが、前記光ファイバケーブルの光の強度の変調によって、前記光ファイバケーブルを介して送信された前記光同期信号を時間多重化するように、更に動作する、請求項37に記載のILS。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本開示は、航空機用の計器着陸システムに関する。特に、本開示は、ILSのグライド・パス・アレイ及びローカライザアレイに関する。

【背景技術】

【0002】

空間内で計器着陸システム（ILS）信号を生成し、様々な予期されるミッションに特有の追加の要件を満たす、改良した精密アプローチ及び着陸システムが必要とされている。

【0003】

米国政府向けに実装される場合、ILSシステムは、GPS使用困難環境に設置されて動作し、空間内で、カテゴリーIのILSのICAO Annex 10要件に準拠するILSローカライザ信号及びグライドパス信号を生成し、更に、米国飛行検査マニュアル、FAA Order 8200.1に従って飛行検査を正常に完了する必要がある。システムは、多種多様な航空、陸上及び海上の輸送手段を介して単一の463Lパレット上で輸送され得るなど、輸送可能である必要もある。また、世界の劣悪な場所で2人が2人時（かさばる衣類着ている場合、最大6人時）でシステム設定を遂行できることも必要とされている。

【発明の概要】

【0004】

本開示の実施形態によれる、計器着陸システム（ILS）を説明する。ILSは、複数のアンテナ、及び複数のアンテナ無線ユニット（ARU）を備える。複数のARUのうちの各ARUは、送信のために、複数のアンテナのうちの別の1つに提供される変調RF信号を発生するように動作する。ILSは、ARUによって複数のアンテナに提供された変調RF信号間の同期を調整するために、ARUを制御するように動作する中央処理ユニットを更に備える。

【0005】

本開示の態様は、例として示されており、添付の図面によって限定されない。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】いくつかの実施形態による、従来のILSシステムアーキテクチャを示す図である。

【0007】

【図2】いくつかの実施形態により構成された携帯計器着陸システムアーキテクチャを示す図である。

【0008】

【図3】いくつかの実施形態による、理想信号空間内の2つの搬送波を示す図である。

【0009】

【図4】いくつかの実施形態により構成された例示的なアーキテクチャを示す図である。

【0010】

【図5】いくつかの実施形態による、2本のケーブルが1cm異なる場合の描写を示す図である。

【0011】

【図6】いくつかの実施形態によるシステムを実装するために関連する動作を有する例示的なブロック図である。

【0012】

【図7】いくつかの実施形態による、タイミング図を示す図である。

【0013】

【図8】いくつかの実施形態による、アーキテクチャの例示的な動作を示す図である。

【0014】

【図9】いくつかの実施形態による、共通ケーブルの典型的な挙動を示す例示的な測定値を示す図である。

10

20

30

40

50

【0015】

【図10】いくつかの実施形態による、変調の同期の例示的な動作を示す図である。

【0016】

【図11】いくつかの実施形態による、変調同期性を示すグラフの図である。

【0017】

【図12】いくつかの実施形態により構成された2個のDVOR送信機を示す図である。

【0018】

【図13】いくつかの実施形態により構成されたビバルディアンテナを示す図である。

【0019】

【図14】いくつかの実施形態により構成された対数周期ダイポール（LPD）アンテナを示す図である。

10

【0020】

【図15】いくつかの実施形態による、4素子水平グライド・パス・アンテナ・アレイ構成を示す図である。

【0021】

【図16】いくつかの実施形態による、DDMに対する4素子水平アレイの仰角を示す図である。

【0022】

【図17】いくつかの実施形態による、CSB及びSBO電力プロットに対する水平アレイの仰角を示す図である。

20

【0023】

【図18】いくつかの実施形態による、CSB及びSBO位相に対する仰角を示す図である。

【0024】

【図19】いくつかの実施形態による、2素子水平グライド・パス・アンテナ・アレイ構成を示す図である。

【0025】

【図20】いくつかの実施形態による、円錐の断面を有する従来のヌル基準アレイの一実施形態の側面図である。

【0026】

【図21】いくつかの実施形態による、水平アレイのグライドパス表面断面の側面図である。

30

【0027】

【図22】いくつかの実施形態による、アプローチパス上の航空機から見た円錐の断面図である。

【0028】

【図23】いくつかの実施形態による、10素子水平グライド・パス・アンテナ・アレイ構成を示す図である。

【0029】

【図24】いくつかの実施形態による、個々のペアのグライドパスの断面図である。

40

【0030】

【図25】いくつかの実施形態による、アレイの方位角の関数としての3°仰角におけるDDMを示す図である。

【0031】

【図26】いくつかの実施形態による、10素子水平グライド・パス・アレイDDMに対する仰角を示す図である。

【0032】

【図27】いくつかの実施形態による、クリアランスを有するDDMに対する方位角を示す図である。

【0033】

50

【図 2 8】いくつかの実施形態による、クリアランスを有する D D M に対する着陸からの距離を示す図である。

【 0 0 3 4】

【図 2 9】いくつかの実施形態による、水平アレイ搭載構造を示す図である。

【 0 0 3 5】

【図 3 0】いくつかの実施形態による、C S B 及び S B O 電力プロットに対する垂直画像のないアレイの仰角を示す図である。

【 0 0 3 6】

【図 3 1】いくつかの実施形態による、C S B 及び S B O 位相プロットに対する垂直画像のないアレイの仰角を示す図である。

【 0 0 3 7】

【図 3 2】いくつかの実施形態による、非画像化垂直グライド・パス・アレイ構成を示す図である。

【 0 0 3 8】

【図 3 3】いくつかの実施形態による、非画像化垂直グライド・パス・アレイ D D M に対する仰角を示す図である。

【 0 0 3 9】

【図 3 4】いくつかの実施形態による、垂直アレイ搭載構造を示す図である。

【 0 0 4 0】

【図 3 5】いくつかの実施形態による、素子及び支持構造を有するローカライザ・アレイ・アンテナを示す図である。

【 0 0 4 1】

【図 3 6】いくつかの実施形態による、ローカライザ C S B 及び S B O 利得に対する方位角を示す図である。

【 0 0 4 2】

【図 3 7】いくつかの実施形態による、ローカライザ D D M に対する方位角を示す図である。

【 0 0 4 3】

【図 3 8】いくつかの実施形態による、水平アレイの長期アンテナ位置誤差影響を示す図である。

【 0 0 4 4】

【図 3 9】いくつかの実施形態による、水平アレイの長期振幅誤差影響を示す図である。

【 0 0 4 5】

【図 4 0】いくつかの実施形態による、水平アレイの長期位相誤差影響を示す図である。

【 0 0 4 6】

【図 4 1】いくつかの実施形態による、水平アレイの合成長期誤差影響を示す図である。

【 0 0 4 7】

【図 4 2】いくつかの実施形態による、水平アレイの合成短期誤差影響を示す図である。

【 0 0 4 8】

【図 4 3】いくつかの実施形態による、垂直アレイのアンテナ長期位置誤差影響を示す図である。

【 0 0 4 9】

【図 4 4】いくつかの実施形態による、垂直アレイの長期振幅誤差影響を示す図である。

【 0 0 5 0】

【図 4 5】いくつかの実施形態による、垂直アレイの長期位相誤差影響を示す図である。

【 0 0 5 1】

【図 4 6】いくつかの実施形態による、垂直アレイの長期合成誤差影響を示す図である。

【 0 0 5 2】

【図 4 7】いくつかの実施形態による、垂直アレイの短期合成誤差影響を示す図である。

【 0 0 5 3】

10

20

30

40

50

【図 4 8 A】地面粗度からの水平アレイの影響を示す図である。

【図 4 8 B】地面粗度からの水平アレイの影響を示す図である。

【図 4 8 C】地面粗度からの水平アレイの影響を示す図である。

【図 4 8 D】地面粗度からの水平アレイの影響を示す図である。

【0 0 5 4】

【図 4 9 A】地面粗度からの垂直アレイの影響を示す図である。

【図 4 9 B】地面粗度からの垂直アレイの影響を示す図である。

【図 4 9 C】地面粗度からの垂直アレイの影響を示す図である。

【図 4 9 D】地面粗度からの垂直アレイの影響を示す図である。

【0 0 5 5】

【図 5 0】いくつかの実施形態による、水平アレイの反射領域を示す図である。

【0 0 5 6】

【図 5 1】いくつかの実施形態による、垂直アレイの反射領域を示す図である。

【0 0 5 7】

【図 5 2】いくつかの実施形態による、同等のフィールド強度を実現する従来及び P I L S ローカライザシステムを示す図である。

【0 0 5 8】

【図 5 3】いくつかの実施形態による、方位角に対する振幅の変化を示す、8 素子を有するローカライザの C S B パターンのグラフの図である。

【0 0 5 9】

【図 5 4】いくつかの実施形態による、従来のシステム及び P I L S 水平システムの構成を示す図である。

【0 0 6 0】

【図 5 5】いくつかの実施形態による、グライドパスの C S B パターンを示すグラフの図である。

【0 0 6 1】

【図 5 6】従来のシステム、いくつかの実施形態による P I L 水平システム、及びいくつかの実施形態による P I L S 垂直システムを示す図である。

【0 0 6 2】

【図 5 7】いくつかの実施形態による P I L S 垂直グライド・パス・システムを示す図である。

【0 0 6 3】

【図 5 8】いくつかの実施形態による、水平アレイ位置誤差調整を示す図である。

【0 0 6 4】

【図 5 9】いくつかの実施形態による、逆位相で受信機に到来する水平グライドパスの 2 個のアレイから来る信号の誤差調整を示す図である。

【0 0 6 5】

【図 6 0】いくつかの実施形態による、水平グライド・パス・アレイ D D M に対する誤差のない仰角を示す図である。

【0 0 6 6】

【図 6 1】いくつかの実施形態による、水平グライド・パス・アレイ D D M に対する 1 0 c m の誤差を有する仰角を示す図である。

【0 0 6 7】

【図 6 2】いくつかの実施形態による水平グライド・パス・アレイ D D M を示す図である。

【0 0 6 8】

【図 6 3】いくつかの実施形態による水平グライド・パス・アレイ D D M を示す図である。及び

【0 0 6 9】

【図 6 4】いくつかの実施形態による、後方グループに対する前方グループのアンテナ位置誤差の影響を c m 単位で示す図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0070】

本発明の概念は、本発明概念の実施形態の例を示している添付の図面を参照して以下に十分に説明する。しかしながら、本発明概念は、多くの様々な形態で具体化されてもよく、本明細書に記載の実施形態に限定されると解釈されるべきではない。むしろ、本開示は、徹底的で完全であり、様々な本発明概念の範囲を当業者に完全に伝えるように、これらの実施形態を提供する。また、これらの実施形態は相互に排他的ではないことに留意されたい。一実施形態からの構成要素は、別の実施形態に、存在する／使用されると暗黙的に仮定されてもよい。

【0071】

本開示のいくつかの実施形態は、ILSアーキテクチャで生じ得る潜在的な同期問題を解決することを対象とする。実際、従来のシステムでは、単一の送信機が変調RF信号を発生し、変調RF信号は、その後、受動ネットワークを介してすべてのアンテナに分配されるが、いくつかの現在開示されている実施形態による分配システムでは、各アンテナによって放射される信号は、専用の能動送信機が発生する。

【0072】

図1は、従来のILSシステムアーキテクチャを示している。図2は、本開示のいくつかの実施形態により構成された携帯計器着陸システム（PILS）アーキテクチャを示している。

【0073】

図2を参照すると、共通の中央ユニット（CU）によって調整された送信機（「ARU」と呼ばれる、アンテナ無線ユニット）間の適切な同期が、空間内における複合信号のコヒーレンスを保証するために必要とされる。いくつかの実施形態では、中央ユニットは、本明細書に記載の動作を実施するための処理回路及び／又はプロセッサのうちの1つを備える。中央ユニットのハードウェア実装及び／又はソフトウェア実装に関する追加の例及び実施形態も本明細書で以下に説明する。

【0074】

本課題は、ローカライザ及びグライドパス（この文書では、最も重要なGP（Glides Path）について説明している）を横断するものであり、以下の3つのグループに分けられ得る。

1）搬送波周波数及び位相の同期（例えば、330MHz）：すべてのアンテナが同じ搬送波周波数及び位相を送信するように動作する。

・図1の従来のシステムでは、1つのRF発振のみが存在し、アンテナ間のRF位相等価性は、分配ユニット許容差によって、及び適切なRFケーブル較正によって保証される。

・代わりに、図2のPILSアーキテクチャでは、各ARUは、それ自体のローカル発振を有する。中央ユニットは、すべてのARUに基準発振をブロードキャストしなければならない。これにより、ARUは、それら自身のRFローカル発振をロックする共通発振を受信する。次に、各送信機が、いずれのRF位相も補正し得るので、ケーブルのRF位相等価性は必要ではないが、異なるケーブル遅延の適切な測定が、中央ユニットによって実施されなければならない。

2）変調の同期（例えば、モールス、90Hz、150Hz、1020Hz、8kHz）：すべてのアンテナが同じ周波数及び位相で変調信号を送信するように動作する。

・図1の従来のシステムでは、変調信号は、共通の送信機が発生する。

・図2のPILSアーキテクチャでは、本課題は、理論的には前の2つと類似しており、信号が遅い（ケーブル長の影響を受けない）という単純化であるが、信号が多く、これにより、信号が多重化及び逆多重化される必要があるという複雑さがある。

3）受信機の同期（例えば、安全性の課題）：以前の2つの課題のいずれかの障害が、中央ユニットによって検出されなければならない。

・図1の従来のシステムでは、基本的に1個のモニタがあるため、本課題はほとんど存在しない。

10

20

30

40

50

・代わりに、図2のPILSアーキテクチャでは、中央ユニットのモニタは、各ARUに収容されたデジタル受信機が計算した数値を処理することによって、空間内信号を推定する。これらの値は、同期回路が故障していない場合にのみ信頼でき、したがって、各ARU送信機が使用する同期回路は、ARU受信機が使用する同期回路から独立していなければならない。本明細書のような実施形態のPILSアーキテクチャでは、各ARUの送信機セクション及び受信機セクションは、独立したユニットとして動作することができ、したがって、Nは、(ARUの)アンテナの数の2倍である。

【0075】

対応する実施形態は、複数のアンテナと、複数のARUであって、ARUの各々が、送信のために、複数のアンテナのうちの別の1つに提供される変調RF信号を発生するように動作する、複数のARUと、を含むILSに関する。ILSは、送信のために、ARUによって複数のアンテナに提供された変調RF信号間の同期を調整するために、ARUを制御するように動作する中央ユニットを更に含む。

【0076】

一実施形態では、中央ユニットは、送信のために、ARUによって複数のアンテナに提供された変調RF信号間の搬送波周波数及び位相の同期を調整するために、ARUを制御するように動作する。以下に詳細に説明するように、一実施形態による、中央ユニットは、送信のために、ARUによって複数のアンテナに提供された変調RF信号間で、限定しないが、 1° のRF偏差などである閾値RF偏差以下を有するように、搬送波位相拡散の同期を調整するために、ARUを制御するように動作するという、特に好都合な点がある。

【0077】

別の実施形態では、各ARUは、送信のために、変調RF信号のうちの1つを複数のアンテナのうちの1本のみに提供するために、直接接続される。各ARUは、中央ユニットによって提供される基準発振信号に位相ロックするように動作するローカルRF発振回路を含み得る。中央ユニットは、複数のケーブルの各々を介して複数のARUのうちの別の複数のアンテナに接続され、変調RF信号を発生するARUのために、ケーブルを介して信号を提供することができ、中央ユニットは、中央ユニットと各ARUとの間のケーブル信号遅延を測定し、更にケーブル信号遅延の測定に基づいて、送信のために、ARUによって複数のアンテナに提供された変調RF信号間の同期を調整するように動作することができる。基準発振信号と各ローカルRF発振回路の信号との間の位相調整を比較することに基づいて、ケーブル信号遅延は、測定されてもよい。

【0078】

別の実施形態では、各ARUは、送信機回路と、送信機同期回路と、受信機回路と、受信機同期回路と、を含む。送信機回路は、変調RF信号を送信するように動作する。送信機同期回路は、送信機回路によって送信された変調RF信号の同期を制御するように動作する。受信機回路は、変調RF信号を受信するように動作する。受信機同期回路は、受信機回路によって受信された変調RF信号の同期を制御するように動作する。更なる実施形態では、中央ユニットは、各ARU内の送信機回路間の搬送波周波数及び位相の同期を調整するように動作する。

【0079】

概念開発

【0080】

ここで、いくつかの実施形態による、PILS概念開発（「新システム」とも呼ぶ）の説明を以下に提供する。

【0081】

ARUは、以下の数学的記述に従って信号を発生するように動作し得る。

【0082】

空間(V)内の理想的な信号は、中心周波数 f_0 (330 MHz) から約 $+4\text{ kHz}$ 及び -4 kHz (f_s) シフトされた2つの搬送波 (図3に示すようなCRS及びCLR) から構成され、各振幅は、90 Hz及び150 Hzで、2つの連続トーンによって80%

10

20

30

40

50

で変調され、変調DDMの差は受信機仰角に依存し、

$$V(t, \theta) = V(\theta) * \cos[2\pi(f_0 - f_s)t] * [1 + (0.4 - \text{DDM}(\theta) / 2) * \cos(2\pi * 90 * t) + (0.4 + \text{DDM}(\theta) / 2) * \cos(2\pi * 150 * t)] + (f_0 + f_s \text{にセンタリングしたクリアランス})$$

【0083】

図3は、いくつかの実施形態による、理想信号空間内の2つの搬送波（CRS及びCLR）を示している。ローカライザシステムの場合、各搬送波は、モールス（Morse）符号（そのインパルスは、1秒よりも短い持続時間を有する）をキーとする1020 Hz トーンによっても振幅変調される。

$$ID(t) = \cos(2\pi * 1024 * t) * \text{Morse}(t)$$

【0084】

空間VARU-i内のこの信号は、同様の信号を各アンテナ（i）に供給することによって実現され、それは、RF振幅、RF位相 ψ_i 及びトーン変調深度、並びに位相 ψ_i^{sbo} について異なり、搬送波周波数、変調周波数及びモールス符号のような共通の他の特性を有する。

$$VARU-i(t) = V_i * \cos[2\pi(f_0 - f_s)t + \psi_i] * [1 + (0.4 + A_i) * \cos(2\pi * f_{90} * t + \psi_i^{sbo}) \pm (0.4 + A_i) * \cos(2\pi * f_{150} * t + \psi_i^{sbo})] + (+f_0 + f_s \text{にセンタリングしたクリアランス})$$

【0085】

基本的に、いくつかの実施形態によれば、インデックスiを有する係数（CRSとCLRの両方の V_i 、 ψ_i 、 A_i 、 ψ_i^{sbo} ）は、アンテナごとに、従ってARUごとに変化する一方で、同期は、すべての共通周波数が可能な限り互いに同一であり、同じ瞬間（位相）に可能な限り開始することを保証することで成り立つ。

【表1】

	公称周波数	許容される許容差（周期）
搬送波周波数	$f_0 = 330 \text{ MHz}$ (又は110 MHz)	$\Delta t_0 = 8 \text{ ps}$ (又は24 ps)
コースークリアランスシフトの半分	$f_s = 4 \text{ KHz}$	$\Delta t_s = 0.7 \text{ us}$
識別トーン	$f_{1024} = 1024 \text{ Hz}$	$\Delta t_{1024} = 3 \text{ us}$
航法トーン	$f_{90} = 90 \text{ Hz}$	$\Delta t_9 = 30 \text{ us}$
航法トーン	$f_{150} = 150 \text{ Hz}$	$\Delta t_{150} = 20 \text{ us}$
モールス符号通常率	$f_{\text{morse}} = 1 \text{ Hz}$	$\Delta t_{\text{morse}} = 3 \text{ ms}$

表1－許容される許容差周期

【0086】

一実施形態では、新規のグライド・パス・システムが安定した降下角を保証するために、無線周波数搬送波の許容可能な静的位相拡散は1°未満でなければならない。この要件は、新規の画像なしGPアレイで実施されたシミュレーションの結果であり、それは、2個のアンテナ送信機間の1°のRF偏差が、0.02°のグライドパス角度偏差に対応する約0.5%のDDM偏差を生成し得ることを示し、これは許容可能である。0.03°が、実際の環境で現在のシステムでもたらされる典型的なGP角度ノイズであるため、新規のシステムの設計研究では、0.02°の控えめな目標が、シミュレーションシステムの理想的な環境のために特定されている。一方、現在の画像化システムでは、アンテナにおける5°のRF位相偏差さえも、GP角度に影響しない。

【0087】

したがって、上記の表1を見ると、この要件限界は許容される時間許容差に変換される。比較及び基準のために、他の周波数についても1°を示している。

【0088】

表1を参照すると、第1の項目（搬送波同期）は、他の項目（変調同期）に対して特別な注意を必要とすることが明らかである。8 p s要件は、（特に50 mを超えるケーブル長のために）困難な目標であり、これは、中期及び長期にわたって保証されなければならない（そうでなければ不安定な降下角を生成する）が、短期（ms範囲）にわたって、この要件は以前から可能な範囲である。信号は振幅変調されているので、極めて短期の位相偏差（高周波ジッタ）は気にする必要はない。

【0089】

解決策の説明

【0090】

様々な更なる実施形態を、P I L Sシステムがどのように実装され得るかという文脈で、ここで説明する。

【0091】

信号の説明及び解決策選択肢の導入。

【0092】

各A R U送信機は、プログラマブル搬送波周波数及びプログラマブル構成値（例えば、R F電力、R F位相、変調深度、及び位相のうちの少なくとも1つ）において、変調無線周波数信号を発生し得る自律型ソフトウェア無線である。V O R信号の周波数、波形、及び安定性の要件は、I L Sの要件に極めて近く、したがって、D V O R物理プラットフォームを使用して初歩的なI L S 4アンテナ・ローカライザ・システムを実装し、空間内でローカライザ信号を生成することは、比較的低コストで安易であり得る。したがって、異なるA R U間の同期のみが研究されている一方で、S D Rの周波数及び位相精度が証明されている。

【0093】

以下の段落で提示する解決策は、ケーブル長及びフィールド較正と関係なく、システム設計に焦点を合わせている。

【0094】

共通同期信号のスター分配

【0095】

いくつかの実施形態では、各ローカル発振（搬送波周波数の決定論的分周逡倍）が中央ユニットによってブロードキャストされる共通のT C X Oにロックされる場合、各A R Uは、同じ平均無線周波数を有することになる。図4は、いくつかの実施形態により構成された例示的なアーキテクチャを示している。T C X Oは、温度補償水晶発振が発生した信号であってもよい。

【0096】

したがって、一実施形態では、各A R Uは、中央ユニットによってブロードキャストされる共通のT C X Oにロックされる搬送波周波数の決定論的分周逡倍を出力するように動作するローカルR F発振回路を含む。

【0097】

図4を参照すると、（調査中の水平G Pの2つのバージョンを考慮して）20本のケーブルが、全長60 m又は80 mにわたって1 mmの精度で全く同じ長さを有する場合に、10 p sの要件が実現され得るので、アーキテクチャは、搬送波周波数同期を保証することができるが、R F位相同期を保証することはできない。図5は、2本のケーブルが、わずか1 cm異なる場合に起こることを示している（これは、1°の位相シフト限界を満たすために許容されない）。

【0098】

しかしながら、いくつかの実施形態は、各ケーブルのR Fオフセットの測定を可能にし、そのため、そのケーブルに関連したデジタル送信機は、（アレイパターンを形成するために必要な）アンテナポートにおける公称R F位相に対して、この値を減算するように動作することができ、これにより、アンテナにおける信号が同相になる。

10

20

30

40

50

【0099】

ケーブル遅延の測定は、中央ユニットに要求される。すべてのケーブル間（及びARU間）の差のみが、フェーズド・アレイ・ビーム形成の決定要因であるため、ケーブル（及び送信機の）遅延の絶対値は必要とされない。設置セットアップでのケーブル長測定のような他の解決策を取りやめた後、又は連続測定を実施した後、時分割多重化に基づいて解決策が提供される。

【0100】

ARUのローカルRF発振は、内部のTCXO（図6及び図8参照）によって駆動され、TCXOは、中央ユニット（CU）によってブロードキャストされ、更に内部のTCXOが発生した同期信号にロックされた位相ロックループ（PLL）によって制御される。

【0101】

CUは、極めて短いタイムスロット（例えば数ミリ秒）の間のみ、1個のARUへのTCXO送信を周期的に（例えば、1秒ごと）停止し、その間、ローカルARU TCXOはフリーズされる（PLLは保持状態をフリーズする）。このタイムスロット（そのARUが発生した信号は、後述するように、十分に安定しているはずである）の間、CUは、そのTCXOと、同じケーブルを介して送り返されるARU TXCO信号との間の位相差を測定し得る。

【0102】

したがって、一実施形態では、各ARUは、TCXOによって駆動されるローカルRF発振回路であって、TCXOが、各ARUの内部にあり、PLLによって制御され、PLLが、中央ユニット内部のTCXOから中央ユニットによってブロードキャストされた同期信号にロックされる、ローカルRF発振回路を含む。中央ユニットは、1個のARUのTCXOが保持状態でフリーズされる規定のタイムスロット期間の間、1個のARUのTCXOを周期的に停止するように動作し、1個のARUのTCXOがフリーズされている間、中央ユニットは、中央ユニットの内部のTCXOと、1個のARUの内部のTCXOからケーブルを介して中央ユニットに送信された信号との間の位相差を測定するように動作する。

【0103】

図6は、いくつかの実施形態による、このシステムを実装するために関連する回路及び動作を示す例示的なブロック図を示している。図6のシステムでは、回路及び動作は、「t_{GO}」時間間隔（毎秒約990ms）の間、ARUのローカルTCXOがCUのマスタTCXOにロックされることを含む。ローカル周波数は制御される。「t_{RET}」時間間隔（毎秒約10ミリ秒）の間、各ARUのローカルTCXOはフリーズされ、CUは、ケーブルによって遅延した（2倍）ローカルARUを測定する。ローカル周波数はフリーランである。CUは、1秒毎に、他の構成値（電力、変調指数）と共に、新規に測定された位相遅延 $\Delta\psi/2$ を用いて各ARUを更新する。低レート同期（変調トーン、IDなど）は、（後述するように）同じケーブル上でブロードキャストされる。図6において、「制御ユニット」（CU）は、本明細書の他の箇所に記載する「中央ユニット」に対応することができる。

【0104】

10（送信機）+10（受信機）のARUが同期される必要がある場合、可能なタイムスケジュールは、図7のタイミング図によって示されるようになり得る。

【0105】

最適なタイムスロット期間の決定は、空間内の信号の完全性にとって基本的であり、これは、CUが正確で安定した位相測定を実施するために必要とされる大きな値と、フリーズされたローカルTCXOの過度の迷走を回避するために必要とされる小さな値との間のトレードオフの結果である。

【0106】

残念なことに、長期周波数安定性は市販のTCXO（通常1ppm/年であり、既に極めて良好な値である）で規定されている一方で、短期偏差（ppm/s）は一般に、正確

10

20

30

40

50

な原子TCXO (0.002 ppm/s) で規定されており、それらのコスト (1000ドル) 及び電力消費 (5W) のために使用され得ない。

【0107】

短期偏差の大まかな評価は、2つの典型的な同一のTCXOによって生成された周波数を混合することによって、及びビート周波数の経時的な偏差を測定することによって、実験を介して実施された。TCXO短期安定性の大まかな推定は、 330 MHz で約 1 Hz である。残念ながら、安定性は極めて良好である (3×10^{-9}) にもかかわらず、TCXOを1秒間フリーランさせるのに十分ではない。実際には、控えめにすると、1秒以内の 1 Hz は、 360° に等しい位相シフトを生成し、これは本発明者らの 1° の目標からは遠い。 $\Delta\psi = 2\pi\Delta f t$ であるので、 10 ms のフリーランスロットは 3.6° を生成するが、 10 ms 以内に、周波数偏差が、 1 Hz (1秒後に測定された値) よりもはるかに小さいと合理的に想定することができる。一方、 10 ms のタイムスロットは、数千の 40 MHz 発振を含み、これにより、CUは、位相シフト (約 10 ps 、すなわち 0.1° の精度で) の安定した正確な測定を可能にする。

10

【0108】

複数の搬送波に基づく位相同期ループ

【0109】

いくつかの実施形態では、各ARUは、接続同軸ケーブルを介して送信された異なるトーンに基づいて、分配位相同期ループを使用して、その内部クロックの正確な位相同期スキームを実施する。このアプローチは適切に機能しており、媒体内の伝搬速度が選択された異なる周波数について同じである場合 (ケーブルはほとんど分散しないものとする)、極めて正確である。

20

【0110】

いくつかの実装実施形態によれば、ARUに向けて送信される2つの周波数は、 f_1 及び f_2 と名付けられ、所望の周波数 f_{op} に加算されるように選択される。ARUでは、2つの周波数 f_1 及び f_2 が混合されて、2で除算され、同じケーブルでCUに送り返される動作周波数 f_{op} が得られる。ARU及びCUにおいて必要とされる周波数分離及び選択性を、方向性結合器を回避する安価なフィルタ (表面弾性波 (SAW) 又はLC) を使用して実際に保証することができる。

【0111】

CUは、 $f_{op}/2$ トーンの戻りを受信し、この信号と、ARUに送信された2つのトーンのうちの1つ (f_2) の位相を適切に補正する発生した f_{op} 信号と、を同相で比較し、したがって分配PLLアーキテクチャを実装する。

30

【0112】

したがって、一実施形態では、各ARUはローカルRF発振回路を含む。中央ユニットは、ケーブルを介して各ARUに2つの周波数信号を提供し、そのケーブルの各々は、中央ユニットを複数のARUのうちの別の1つにそれぞれ接続する。中央ユニットはまた、2つの周波数信号を合成して、中央ユニットでの動作周波数信号を提供する。各ARUは、2つの周波数信号を共に混合して、動作周波数信号を取得し、動作周波数信号を2で除算して、リターン信号を発生し、リターン信号は、それぞれのケーブルを介して制御ユニットに戻される。各ARUについて、制御ユニットは、ARUからリターン信号を受信し、ARUからのリターン信号の位相と、中央ユニットでの動作周波数信号とを比較し、位相比較に基づいてARUの同期を調整する。

40

【0113】

図8は、上述のアーキテクチャの例示的な動作を示している。USBG及びLSBGはそれぞれ、上側又は下側帯域発生器 (平衡ミキサ及びフィルタリング) である。CUには、フィードバックトーン $f_{op}/2$ と共にループを閉じている位相制御トーン f_2 を適切に発生するための他の2個のミキサがある。このアーキテクチャは、FPGA又は別のRFデジタルソリューションを使用して同等の方法で合成され得る。

【0114】

50

このアプローチは、マイクロ波実装であっても1度未満の位相誤差で正確であることが検証されており、ケーブルに関連する任意の温度変動（すなわち、長さ、速度係数）を本質的に補償する。

【0115】

定常状態では、ケーブルの位相オフセットが補償されており、システムは、ケーブル長に影響されず、ケーブルが分散している場合にのみ誤差を発生することを示すことができる。いくつかの実装形態では、周波数は100 MHz範囲内にあり、3つのトーンによって使用される全体的な帯域幅もその範囲内に制限されるため、分散は無視される。

【0116】

図9は、RG223のような一般的なケーブルの典型的な挙動を示す例示的な測定値を示している。ケーブル分散に関連する差動位相誤差は、1 GHz未満の数千度の範囲内である。これは、約330 MHzで動作するとき起こり得る分散による誤差寄与の大きさである。

【0117】

変調の同期

【0118】

搬送波周波数が、2つの例示的なアプローチのうちの1つを使用して同期されると、各ARUにおいて、変調周波数を、極めて高い分解能で搬送波周波数の分数比として容易に発生し得る。比が決定論的な値であることにより、すべての変調周波数の等価性が保証される。

【0119】

一例として、搬送波周波数が332 MHz（1000 Hzの許容差を有する）である場合、変調トーンを次のように発生し得る。

$f_{90} = 332.000.000 (\pm 1000) / 2^{40} * 298.061 = 90.0002 \text{ Hz} (\pm 0.002) \text{ Hz}$ （要件は0.01 Hz）

$f_{150} = 332.000.000 (\pm 1000) / 2^{40} * 496.768 = 150.0002 \text{ Hz} (\pm 0.003) \text{ Hz}$ （要件は0.01 Hz）

$f_{1024} = 332.000.000 (\pm 1000) / 2^{32} * 13.247 = 1023.99 \text{ Hz} (\pm 0.02) \text{ Hz}$ （要件は0.1 Hz）

$f_5 = 332.000.000 (\pm 1000) / 2^{24} * 203 = 4017 \text{ Hz} (\pm 0.1) \text{ Hz}$ （要件は50 Hz）

【0120】

変調周波数に関する限り、同期は課題ではない。代わりに、低周波数は、はるかに高い周波数の分割によって得られるので、それらの位相は、各ARUにおいて、低周波数が無線周波数のどの周期で始まることも防止されなければならないので、課題である。図10は、変調の同期の例示的な動作を示すグラフである。

【0121】

ARUを変調時間領域（約1 μs）で同期させるために要求される精度は低いので、ケーブル遅延は無視され、各ケーブルからのリターンを必要とせずに、共通の変調同期性をCUによって、すべてのARUにブロードキャストすることができる。

【0122】

ARU内のデジタル直接合成発振器（DDS）は、CUからの同期インパルスを用いて、無線周波数の分割として変調周波数を発生する。図11は、変調同期性を示すグラフである。

【0123】

変調同期性は、構成データと共にARUへ物理的に送信され、その最初の大まかな推定は、約100 kb/sであるが、この目的のために、1 Mb/sへ増加され得る。

【0124】

同期信号の送信

【0125】

いくつかの実施形態によれば、リモート A R U への同期信号は、ファイバケーブル又は銅ケーブルを介して送信される。一実施形態では、同期信号は、銅線上の電気信号として分配され得る。いくつかの実施形態では、C U から A R U へ、及び A R U から C U に戻る接続ごとに、単一のケーブルが使用される。いくつかの実装形態では、主 I L S 信号は、順方向パス内の同期信号と共にファイバ接続を介して送信される。逆方向パスでは、同期信号は別々に送信される。このアーキテクチャでは、A R U は、内部で主 I L S 信号を合成する必要がないため、簡略化される。A R U 又は C U は、同期ループに従って主信号の位相を調整し得る。

【0126】

いくつかの実施形態では、ケーブルは光ファイバを備える。相互接続のサイズ及び質量を低減するために、いくつかの実施形態によれば、基本的に光ファイバによって C U 及び A R U を相互接続するために、光原理を使用してもよい。特にサブアレイの相互接続には、単一の耐久性のあるインターコネクタプラグに取り付けられた単一又は複数のファイバを使用してもよい。中央ユニットは、いくつかの実施形態では、光ファイバケーブルを介して送信される光同期信号を使用して、送信のために、A R U によって複数のアンテナに提供された変調 R F 信号間の同期を調整するために、A R U を制御するように動作する。

【0127】

いくつかの実施形態では、複数の搬送波を使用して、ファイバケーブル又は銅ケーブルを介して同期データの送信。この実施形態では、複数の搬送波のうちの搬送波の1つが逆方向パスに使用される。逆方向パスは、同じ媒体を介してもよく（例として異なるモード又は波長を使用するファイバの場合）、又は同じ長さの順方向パスの別個の媒体（すなわち、ファイバ手段については、同じ複数のケーブルのうちの別の1つを意味する）を使用してもよい。

【0128】

複数の搬送波電気信号の各周波数は、光同期信号の特定の波長にマッピングされる。その後、同期信号は時間連続信号のままである。光同期信号を、サブアレイを相互接続するために、単一の光ファイバを介して送信することができる。各 A R U への分配は、各 A R U に相互接続するために、短いファイバを介した分配のための光信号を分割するインタコネクタボックスによって実施され得る。光同期信号を変換して、電気信号に戻すことができ、コネクタボックスにおける相互接続は、等しい長さの短い電気インタコネクタケーブルによって実施される。

【0129】

いくつかの実施形態では、時間多重化を使用し、同じ媒体を介して位相整合データを送り返すファイバケーブル又は銅ケーブルを介した同期信号の送信。いくつかの実施形態では、時間多重化同期スキームは、光の強度の変調によって適用されてもよい。C U と A R U との間の接続の原理は、上述した例と同様又は同一である。

【0130】

アーキテクチャのための位相ロックループ（PLL）光学の実装形態の使用も上述している。いくつかの実施形態では、代替案は、同期が光ドメインで実現されるように、同期ループで光 PLL を使用することにある。速い光同期では、位相雑音及びジッタが電気同期の周波数より高い周波数にあるため、この実装形態は、全体的な同期精度を高めることになる。

【0131】

共通同期信号のスター分配

【0132】

A R U のローカル T C X O を短い時間間隔でフリーズする可能性を評価するためにテストが実施され、その間、制御ユニットは、共通の T C X O 送信に使用されるのと同じケーブルを使用して、A R U によって返される T C X O 遅延を測定し得る。

【0133】

テストベンチ：それ自体のフリーランニング T C X O （40 MHz）に各々ロックされ

10

20

30

40

50

た2個のDVOR送信機(115MHzのSDR)；供給電圧、負荷、温度、経年劣化に応じて、 $0.1 \div 1 \text{ ppm}$ (すなわち、GP周波数で30Hz超)の大きさの単位で製造された場合に示される周波数安定性。図12は、いくつかの実施形態により構成された2個のDVOR送信機を示している。

【0134】

測定結果は、(115MHzにおける)2つの搬送波が、330MHz(GP周波数)における0.3Hzに対応する、少なくとも0.1Hzだけ互いに移動することを示している。この周波数オフセットは、1秒よりも短い時間で数十度の位相シフトを生成し、これは許容されない。

【0135】

結論は、送信機が同じTCXOで実装されている場合、1秒より短い時間でもロックを解除されたままにすることはできないが、実行可能な唯一の選択肢は、ローカルTCXOを数ミリ秒間フリーズすることであり、この間隔の間、変調トーンが90Hz及び150Hzであるので、TCXO迷走は適度に低く、受信機復調器は、空間変動における信号に反応しない可能性がある。

【0136】

考察及び評価

【0137】

本明細書に開示した様々な実施形態の研究の結果は、リモートユニットの位相同期が、1度位相整合目標を満たす両方のアプローチ(共通信号又は複数の搬送波)を使用して実現可能であることを示している。

【0138】

変調同期のために、どちらの場合も、低周波数インパルスを使用して、変調信号を適切に整列させ、最終的に双方向構成データを送信することが可能である。高周波位相同期、低周波インパルス及びデータ、並びに電力を組み合わせ、リモートARUに送信するために、単一のケーブルを使用して、この解決策を実施することが可能であろう。

【0139】

本明細書に開示される様々な実施形態によって提供される主な違いは、以下を含むことができる。

【0140】

共通同期信号のスター分配

- 1) ケーブル長は定期的に測定され、適切なデータを送信するARUで補償される。
- 2) 単純なハードウェア(HW)実装
- 3) ケーブル測定中にTCXOをフリーズする必要がある
- 4) システムは、ARUユニットを追加してスケールアップされ得るが、時間多重化ポーリング制約を考慮する。

【0141】

複数の搬送波に基づく位相同期ループ

- 1) ケーブル長及び温度変動に影響されにくい
- 2) 搬送波を分離するために、いくつかのフィルタリングが必要であり、一般に、複雑なハードウェアの実装が必要である。
- 3) ロックのリアルタイム制御とTXCOのフリーズ不要
- 4) システムは、ポイント・ツー・ポイント・アーキテクチャを複製するようにスケールアップされ得る。

【0142】

次に、様々な実施形態における導出された要件を説明する。いくつかの実施形態は、この研究の固有の顧客要件に基づく以下の要件に関連する。

a) いくつかの実施形態によれば、グライド・パス・システムは、非画像化タイプでなければならない。

—従来の画像化タイプ・グライド・パス・システムは、空間内で適切な信号を生成するた

10

20

30

40

50

めに、グライド・パス・アンテナの前方に大きい平坦領域を必要とする。したがって、画像化システムは、「劣悪な」場所での設置の要件を満たすことができなかった。

b) グライド・パス・システムは、短いマスト上の水平アンテナアレイ又は垂直アンテナアレイを使用するものとする。

ー従来のグライド・パス・アンテナ・アレイは、輸送性及び設置要件に適合しない高さ（最大60フィート）の重い塔に搭載される。

c) ローカライザ及びグライド・パス・アレイ内の各アンテナは、「ソフトウェア定義」送信機及び受信機である別個のアンテナ無線ユニット（ARU）によって駆動されるものとする。受信機は監視に使用される。

ー従来のローカライザ又はグライド・パス・システムは、ハードウェア分配ユニットを介してアンテナに接続された単一の送信機を有する。各アンテナに小さいARUを使用すると、各アンテナの信号振幅及び位相を、ソフトウェアを介して正確に設定できるため、実装及び設置が簡単になり、設計及び調整の柔軟性が極めて高くなる。

【0143】

ここで、概念開発、評価アプローチ、及び適用方法のいくつかの追加の実施形態を以下に説明する。

【0144】

グライド・パス・アンテナ・システムは、完全に新しい設計であるため、開発努力の大部分は、グライド・パス・アンテナ・システムに集中している。実装要件及びセットアップ時間要件の制約内で、空間性能能力における信号を分析する様々な構成が考慮されてきた。

【0145】

概念導出のためのアプローチのいくつかの実施形態を以下に説明する。

【0146】

グライドパス

【0147】

いくつかの実施形態では、グライド・パス・システムは、アンテナアレイ設計に対して根本的に異なるアプローチを必要とする。研究された各アレイ構成について、空間における信号の性能を評価するために、シミュレーションが実施されてきた。シミュレーションの能力には、以下が含まれる。

a) 方位角の範囲にわたる仰角の関数としての変調深度の差（DDM）のプロット。（注：DDMは、航空機ILS受信機が所望のグライドパスからの航空機位置の垂直偏差を測定することを可能にする基本信号特性である。典型的な3°グライドパスの場合、DDMは3°で0であり、航空機がグライドパスの下を下降するにつれて増加し、航空機がグライドパスの上を上昇するにつれて減少する。）

b) 仰角の範囲にわたる方位角の関数としてのDDMのプロット。

c) 仰角及び方位角の範囲にわたるグライド・パス・アンテナ・アレイからの距離の関数としてのDDMのプロット。

d) DDMについて上述した条件下でのCSB及びSBOの電力及び位相のプロット。（注：CSB [搬送波プラス側波帯] 及びSBO [側波帯のみ] は、合成されるとDDMを生成する、空間内の信号の2つの成分である。）

e) DDMに対するアンテナの機械的変位の影響。

f) DDMに対するARU電力及び位相誤差の影響。

g) 粗い地面及び傾斜した地面からのものを含む、地面反射の影響。

h) アレイ内のアンテナ間のRF結合の影響。

i) 個々のアンテナの放射パターン特性及び他の特性。

【0148】

DDMのプロットは、ICAO Annex 10及びFAA Order 8200.1の制限と比較された重要なパラメータである、空間グライドパス角度及び幅における信号を示している。

10

20

30

40

50

【0149】

ローカライザ

【0150】

いくつかの実施形態では、ローカライザ・アンテナ・アレイは、（容易な実装及び設置のために修正されている）機械的支持システム内のいくつかの既存のアレイや、（サイズ及び質量を低減するために修正されている）個々のアンテナ素子設計と、違い得る標準的な8素子アレイに基づくことができる。別の違いは、8素子ごとに別個のARUを使用することである。これは、同軸ケーブルトリミングの従来の方法ではなく、ソフトウェアを介して正確な位相調整を行い得るので、セットアップタイムの大幅な改善を提供する。放射パターン、利得、前後比などに関して候補素子の性能を評価するためにシミュレーションが実施されてきた。

10

【0151】

一般的に使用されるローカライザ・アンテナ・アレイのサイズは、8素子から32素子まで様々であり、素子が多いほどアレイが広がる。ローカライザビーム幅は開口サイズに反比例する。広い開口を有するローカライザは、コース内で屈曲を引き起こすマルチパス反射による歪みの影響を受けにくい。例えば、滑走路近くを地上走行する巨大な航空機（例えば、エアバスA380）が、CAT I II IIIの制限を超えるアプローチコースの屈曲を引き起こし得る空港のカテゴリーII IIIローカライザに、32素子アレイは使用される。

20

【0152】

性能要件（CAT I）と、実装要件及びセットアップ時間要件との間のトレードオフの結果として、8素子構成を、この用途に選択した。

【0153】

概念分析のアプローチ。

【0154】

この研究のために開発された着陸システムの概念は、様々な要件に関して分析されてきた。特定の要件の多くの組合せは、トレードオフを必要とし、例えば、空間内の安定した信号は、強固で剛体のアンテナ搭載構造を必要とするが、実装要件及びセットアップ要件は、それらが可能な限り小さく軽量であることを必要とする。

30

【0155】

グライド・パス・アンテナ・アレイのいくつかの実施形態を以下に説明する。

【0156】

このプログラムのすべての要件を満たすようにグライド・パス・アンテナ・アレイを設計することは困難である。2つのタイプのアレイ、すなわち、地面から1m又は2mに搭載された水平アレイと、高さ6mのマストに搭載された垂直アレイと、が分析されてきた。

【0157】

空間内のグライド・パス・システム信号は、搬送波プラス側波帯（CSB）、及び側波帯のみ（SBO）の2つの成分を有する。CSB信号は、同じ振幅を有する90Hz及び150Hzの2つのトーンによって変調された搬送波80%振幅であり、一方、SBOは、CSBトーンに対して互いに同じ振幅及び反対位相を有する90Hz及び150Hzの2つのトーンによって変調された搬送波振幅が抑制された信号である。 V_{csb} 及び V_{sbo} が、空間の任意の点（その組合せは各送信アンテナに対する受信機の位置に依存する）で受信されたCSB及びSBO変調フェーザの合計である場合、その点でのDDMを次のように計算し得る。

40

$$DDM(\%) = 80 * \frac{|V_{SBO}|}{|V_{CSB}|} \cos[\psi(\vec{V}_{CSB}) - \psi(\vec{V}_{SBO})]$$

【0158】

空間内で適切なグライドパス信号を生成するために、各アンテナ素子で適切なCSB及

50

びSBOの振幅及び位相を選択して、グライドパス上で0のDDMを生成する必要がある。これは通常、所望のグライドパス角度、通常は3°でSBO振幅のヌルを実現することによって行われる。このアプローチは、本明細書では水平アレイに使用され得る。しかしながら、これは、コサイン関数を0にするように位相を調整することによって行うこともでき（すなわち、直交におけるCSB及びSBO位相）、これは、非画像化垂直アレイに対して取られたアプローチであった。

【0159】

グライド・パス・アレイには、対数周期ダイポール（LPD）と、本質的に平板であるテーパ付きスロットアンテナであるビバルディアンテナと、2つのタイプのアンテナ素子が考えられてきた。ビバルディユニットは、出荷のために極めてコンパクトに積み重ねることができ、LPDは、良好な方向性を有し、送信機の電力要件を容易にする。図13は、0.75m×0.75mであり、5.2dBi（アレイファクタを加えた）の利得を有する例示的ビバルディアンテナを示している。図14はまた、長さが0.74mであり、9dBi（アレイファクタを加えた）の利得を有し得る例示的なLPDアンテナを示している。

【0160】

いくつかの実施形態では、中央ユニットは、個々のARUのうちの1つ又は複数から受信した測定RFパラメータに基づいて、飛行中の航空機によって受信された、変調深度（DDM）信号及び／又は変調深度の和（SDM）を合成するように動作する。この実施形態では、DDM信号及び／又はSDM信号と、個々のARUの1つ又は複数の構成されたRFパラメータとの比較に基づいて、合成したDDM信号及び／又はSDM信号のうちの1つが、所定の閾値を満たすか又は超えるか否かを、中央ユニットは判定するように動作する。いくつかの実施形態では、合成したDDM信号及び／又はSDM信号のうちの1つが、所定の閾値を満たした又は超えたという判定に応答して、中央ユニットは、複数のARUの動作を停止するように動作する。いくつかの他の実施形態では、合成したDDM及び／又はSDM信号が、所定の閾値を満たさない又は超えないという判定に応答して、中央ユニットは、複数のARUの動作を継続するように動作する。

【0161】

中央ユニットでの監視のために、飛行中のユーザによって受信されたフィールドは、個々のARUの受信機からの測定されたRFパラメータに基づいて合成され、中央ユニットに転送される。CPM内の実行モニタは、結果として得られたDDMを合成し、信号を構成した値と比較する。このアプローチは、任意の所望の位置（方位、仰角、及び近距離フィールドも）及びそれらの量のいずれかにおいて、空間内信号の迅速な推定を可能にする。例えば、監視は、任意の位置における監視入力信号の任意の範囲の値に対して実施され、それでもなお、飛行中のユーザが経験するDDMを合成することができる。対照的に、標準的なILSでは、少数の固定位置しか推定することができない。事前定義した閾値を超える不一致が検出されると、LOC CPMから通知が送信され、これにより、すべてのLOC ARUの送信機／受信機を停止するようにトリガされる。

【0162】

いくつかの実施形態では、複数のARUのうちの各ARUは、ARUに関連付けられた複数のアンテナのうちの1個のアンテナに提供された変調RF信号を受信し、変調RF信号と、ARUの1つ又は複数の信号パラメータとの比較に基づいて、変調RF信号のうちの1つが、所定の閾値を満たすか、又は超えるか否かを判定するように動作する。いくつかの実施形態では、変調RF信号のうちの1つが、所定の閾値を満たした又は超えたという判定に基づいて、変調RF信号のうちの1つが、所定の閾値を満たした又は超えたという指示を含む通知を、複数のARUのうちの各ARUは、中央ユニットに送信するように更に動作する。この実施形態では、中央ユニットは、通知に基づいて、複数のARUのうちの1つ又は複数の動作を継続するか否かを判定するように動作する。

【0163】

あるいは、中央ユニットにおける信号の監視に対して、個々のRFパラメータの個々の

10

20

30

40

50

監視を A R U 内で直接実施することができる。この場合、航空機位置で受信された D D M の有効性との関係は、A R U ごとの個別の監視閾値によって保証される。各（送信機／受信機）A R U は、自身の R F 信号を受信し、信号パラメータと、構成された値とを比較する。検出されると、更なる又はすべての A R U が停止するか否かを決定するための追加のロジックを有する通知が、中央ユニットに送信される。

【0164】

いくつかの実施形態では、複数のアンテナによって放射された R F 信号を受信するように動作するモニタ A R U。この実施形態では、複数のアンテナによって放射された R F 信号が、I L S システムから、飛行中の航空機によって受信されるべき期待 D D M 信号及び／又は S D M 信号と整列しているか否かを判定するように、モニタ A R U は更に動作する。いくつかの実施形態では、複数のアンテナによって放射された R F 信号が、I L S システムから、飛行中の航空機によって受信されるべき期待 D D M 信号及び／又は S D M 信号と整列していないという判定に回答して、モニタ A R U は、複数のアンテナによる R F 信号の放射の停止を開始するように、更に動作する。いくつかの他の実施形態では、複数のアンテナによって放射された R F 信号が、I L S システムの較正プロセス中に放射された以前の R F 信号から、所定の閾値内で逸脱しているという判定に回答して、モニタ A R U は、複数のアンテナによる R F 信号の放射の再較正を開始するように、更に動作する。

【0165】

追加の A R U は、D D M の観点から、放射された信号のフィールドモニタリングのために専用の受信のみ（受信機のみ）としてインストールされ、及び構成され得る。典型的な使用では、フィールドモニタは、位置ずれを検出すると放射信号を停止する。更に、フィールドモニタは、状態監視のために、すなわち、ユーザにとって重要ではないが以前の較正状態から逸脱する信号変化を検出するために、使用され得る。これらの場合、フィールドモニタを使用して、飛行検査用航空機を必要とせずに、システムに内蔵された手段によって信号を再較正することができる。これに関して、様々な A R U は、信号を可能な限り最小故障条件に近づけるために、信号を単独で、又は複数の A R U のグループで放射するように、中央ユニットによって命令され得る。これは、A R U ごとに、様々なパラメータ値を循環及び調整することによって、所望の D D M への最小偏差を検索する検索アルゴリズムによって行われ得る。

【0166】

すべての A R U の動作を停止することを上述したが、状況によっては、1 つ又は複数の A R U の動作を停止し、残りの A R U の動作を継続することが可能であることを理解されたい。例えば、結果として得られた全フィールドが依然として許容差内にある場合、影響を受けた A R U が修正されるまで、残りの A R U の動作が可能である。この状況では、結果として得られた全フィールドを許容差内にするために、影響を受けた 1 つ又は複数の A R U の損失に対処するパラメータの別のセットがロードされる。

【0167】

いくつかの実施形態では、フィールドモニタは、受信アンテナを、及び中央ユニットに接続された信号測定受信機を搬送する移動マストであってもよい。この設定は、較正のためだけに使用され、信号較正後に除去され得る。

【0168】

水平グライド・パス・アレイ。

【0169】

解析された第 1 のアレイは、地面に平らに置かれた塔に搭載された 2 個のアンテナを含む従来のヌル基準画像化アレイとして構成された非画像化アレイであり、ヌル基準画像は物理アンテナに変換され、4 素子線形水平アレイが結果として得られた。図 15 は、このアレイ及び滑走路（縮尺どおりではない）の空中概略図を示している。

【0170】

図 15 は、いくつかの実施形態による 4 素子水平グライド・パス・アンテナ・アレイ構成を示している。

【0171】

このアレイの素子間の間隔は、アンテナ位置許容差に対する空間内の信号の感度を下げ
るために、垂直ヌル基準アレイの間隔から大幅に拡張された。アレイ開口（滑走路に平行
）は、約160mであった。このアレイは、図16に示すように、優れたDDM曲線に対
する仰角を生成した。示した曲線は、典型的な3°グライドパス角度を有するシステム
のものであるが、その角度は、SBO信号位相を調整することによって、2.5°～3.5
°の範囲内のいずれにも設定され得る。

【0172】

図16は、いくつかの実施形態による、DDMに対する4素子水平アレイの仰角を示し
ている。DDMは、3°の仰角では0であり、低い仰角では次第に正（フライアップ表示
）になり、高い仰角では負（フライダウン表示）になることに留意されたい。

10

【0173】

図17は、CSB及びSBO電力に対する仰角を示している。3°のSBOにおけるヌ
ルに留意されたい。図18は、仰角の関数としてのCSB及びSBO位相を示している。
SBO位相は、3°の仰角で-90°（CSB位相と直交）であることに留意されたい。

【0174】

4素子アレイでは、SBO（搬送波側波帯のみ）信号が、アンテナの外側のペアを駆動
し、CSB（搬送波プラス側波帯）が内側のペアを駆動する。更なる分析は、内側のペア
が除去され、外側のペアがCSBとSBOの両方によって駆動された場合に、同じDDM
曲線を得ることができることを示した。結果として得られた2素子アレイを図19に示し
ている。

20

【0175】

したがって、いくつかの実施形態では、複数のアンテナは、アンテナのグライド・パス
・アレイ、及びアンテナのローカライザアレイを備え、ローカライザアレイの各アンテナ
、及びローカライザアレイの各アンテナは、複数のARUのうちの別の1つによって駆動
される。各ARUは、プログラマブル搬送波周波数及びプログラマブル構成値で、変調無
線周波数信号を発生するように動作するソフトウェア無線であり得る。プログラマブル構
成値は、RF電力、RF位相、変調深度、及び位相のうちの少なくとも1つを含み得る。
アンテナのグライド・パス・アレイは、少なくとも4素子水平アレイを提供するために、
水平方向に離隔して配置された少なくとも4個のアンテナ素子を含み得る。いくつかの実
施形態では、アンテナのグライド・パス・アレイは、10素子水平アレイを提供するた
めに、水平方向に離隔して配置された10個のアンテナ素子を有する。アンテナのグライド
・パス・アレイが4素子水平アレイを有する場合、更なる実施形態では、グライド・パス
・アレイのアンテナの外側のペアは、搬送波側波帯のみ（SBO）信号で駆動され、グ
ライド・パス・アレイのアンテナの内側のペアは、搬送波プラス側波帯（CSB）信号で駆
動される。

30

【0176】

図19は、2素子水平グライド・パス・アンテナ・アレイ構成の一実施形態を示してい
る。アレイ軸に対する方位角の範囲にわたってDDM挙動を調べると、適切な信号が生成
される範囲が実際のグライド・パス・システムには小さすぎる可能性があることが明らか
になる。2、4、又は任意の数のアンテナ素子を有する線形グライド・パス・アレイは、
アレイ軸を囲む円錐面上でグライドパス角度が一定である空間内の信号を生成する。

40

【0177】

図20は、円錐の断面を有する従来のヌル基準アレイの一実施形態の側面図を示してい
る。このアレイのいくつかの実施形態では、円錐は極めて浅く、アンテナ塔の周り全体に
延在する。ヌル基準画像化アレイは、アンテナ素子の方位角の放射パターンによってのみ
制限される理論上360°方位角のカバレッジを有する。

【0178】

図21は、水平アレイの一実施形態の側面図を示している。この場合、グライドパス表
面は極めて深い円錐である。また、小さな方位角の範囲をカバーする。図22は、アプロ

50

ーチパス上の航空機から見た円錐の断面の一実施形態を示している。

【0179】

いくつかの実施形態では、グライドパス断面は、アレイ軸を囲む半径 3° の円弧である。半径は度単位であり、直線距離ではないことに留意されたい。図22は、アンテナアレイから滑走路中心線に沿った所与の距離におけるグライドパス表面までの距離を示すものとして解釈することもできる。延長されたアレイ軸線の直上の航空機は、 3° のグライドパス上にあるときに、0 DDMを見ることになる。しかしながら、アレイ軸の右又は左に対して 3° の仰角の航空機は、誤った負のDDM（フライダウン）を見ることになる。航空機が滑走路中心線の側に 3° である場合、航空機は、グライドパス上の 3° に相当する厳密なフライダウン表示を見ることになる。

10

【0180】

方位角のカバレッジを広げる方法は、アレイ軸の両側にアンテナを追加することである。例えば、図23は、10素子水平グライド・パス・アンテナ・アレイ構成の一実施形態を示している。

【0181】

このアレイは、アンテナの5個のペアを備え、中央のペアは、アレイ軸（必ずしも滑走路に平行ではない）と整列され、2個のペアは、アレイ軸の両側に約 2.25° で整列され、2個のペアは、その軸の両側に約 5° で整列される。これにより、 $120\text{m}\sim 160\text{m}$ 離れたアンテナの2つの円弧が結果として得られる。正確な分離距離は重要ではないと判断されている。2つのアンテナ円弧の近い間隔は、ARU間の正確な位相同期を可能にするが、アンテナ位置誤差に対する空間内の信号の感度を増加させる。最適な間隔はまだ決定されていないが、この範囲の下端にあると予想される。間隔は、グライドパス角度又は搬送波周波数の関数ではない。間隔は、すべての設備について同じであり得る。

20

【0182】

一実施形態では、10素子水平アレイは、アンテナの5個のペアを含み、中央のペアは、アレイ軸と整列され、アンテナの2個のペアは、アレイ軸の両側に約 2.25° で整列され、2個のペアは、アレイ軸の両側に約 5° で整列され、アンテナの各ペアは、約 $120\text{m}\sim 160\text{m}$ の間で離隔される。

【0183】

アンテナ個々のペアのグライドパス表面の断面を図24に示している。図24は、個々のペアのグライドパス断面の実施形態を示している。5個のペアからの放射信号は、単純な電力の加算ではなく、複雑な方法で合成する。各アンテナのCSB及びSBO電力並びに位相が適切に選択された場合、 $\pm 6^\circ$ の方位角の範囲にわたってほぼ平坦なグライドパス角度を得ることができる。

30

【0184】

図25は、このアレイの方位角の関数としての 3° 仰角におけるDDMの実施形態を示している。これは、グライドパス角度が、 $\pm 6^\circ$ の方位角の範囲にわたって 3° に極めて近く、その範囲外で急速に低下することを示している。

【0185】

一実施形態では、 $\pm 6^\circ$ の方位角の範囲にわたってほぼ平坦なグライドパス角度を提供するように制御される各アンテナのCSB電力及びSBO電力並びに位相を使用して、ARUはアンテナを駆動するように動作する。

40

【0186】

図26は、10素子水平グライド・パス・アレイDDMに対する仰角の一実施形態を示している。このアレイの仰角及び方位角にわたるDDM曲線は、1つの例外を除いて、カテゴリIのグライド・パス・システムに適している。 $\pm 6^\circ$ 外の方位角でのDDM（すなわち、フライダウン方向）の急激な減少は、安全上の理由から許容できない場合がある。安全な解決策は、DDM曲線がカバレッジ範囲外の方位角でフライアップを示すようにすることである。これは、適切なクリアランス信号を加えることによって実現され得る。

【0187】

50

クリアランス信号（CLR）は、周波数が5kHzオフセットされた別個の搬送波信号であり、それは、90Hzに対して150Hzのみの固定された広がりに変調され、純粋に固定された正（すなわち、フライアップ）のDDM信号を生成する。クリアランス信号の放射パターンは、その電力が、 $\pm 6^\circ$ 以内の方位角についてはパスCSB信号よりも小さくなるように、更にその範囲外の方位角についてはパスCSB信号よりも大きくなるように、整形される。航空機グライドパス受信機は、「捕捉効果」を介して、パス信号又はクリアランス信号のいずれか大きい方にロックオンし、その結果として、方位角のカバレッジ範囲外にフライアップテール（fly-up tails）を有する合成DDM曲線を得る。

【0188】

したがって、一実施形態では、純粋なフライアップ信号を生成し、150Hzのみで変調され、周波数が5kHzオフセットされた別個の搬送波信号であるクリアランス信号（CLR）で、ARUはアンテナを駆動するように動作し、中央ユニットは、各ARUのCLRを個別に調整するように動作する。クリアランス信号（CLR）の放射パターンは、CLR電力が、 $\pm 6^\circ$ 以内の方位角についてはグライド・パス・アレイのアンテナによって送信されるグライド・パス・コース信号のものよりも小さく、その範囲外の方位角についてはグライド・パス・コース信号よりも大きくなるように、中央ユニットの制御下で成形され得る。

【0189】

クリアランス信号を送信するための1つの選択肢は、別個のアンテナアレイを使用することであるが、アンテナの数を最小限に抑えるために、既存のアレイの前部にある5個のアンテナを使用し得る。図27は、クリアランスを有するDDMに対する方位角の一実施形態を示している。方位角度は、このプロットにおける延長された滑走路中心線を基準とし、グライド・パス・アレイはオフセットされているため、パターンは対称的ではない。

【0190】

前部パスアンテナは、クリアランスパターンを生成するために理想的に離隔されていないため、DDMパターンにおけるいくつかの妥協点が必要であった。いくつかの実施形態では、パス及びクリアランス信号パラメータの両方、並びにアンテナ間隔は、適度な複合DDM方位曲線を得るために調整されなければならない。なお、方位角のカバレッジ範囲は、クリアランスのない範囲と比較して幾分減少し、カバレッジ範囲内のDDM変動は幾分大きい。方位角の範囲内で最大平坦度を有する最大方位角の範囲を生成するための合成パス／クリアランス信号の最適化が進行中である。

【0191】

図28は、クリアランスを有するDDMに対する着陸からの距離のグラフを示している。グラフは、オフセットされたグライド・パス・アレイを有する滑走路中心線上の航空機に基づいている。クリアランス信号が存在する場合、DDMは着陸点から500m以内でフライアップ方向に移動することに留意されたい。これはカテゴリI決定高さをはるかに超えているため、通常の動作には影響しない。しかし、これはクリアランスのないDDMの約400mでのフライダウン特性をカバーし、これは潜在的な危険である。

【0192】

水平アレイの物理的実装は、円弧が直線状のアンテナ列によって置き換えられるように、図23に示す配置をわずかに変更する。シミュレーションは、この構成が円弧の信号と同等の空間内の信号を生成し得ることを示している。前部及び後部サブアレイを直線状にすることにより、図29に示すように、サブアレイ上のアンテナを単一の伸縮式構造に搭載することができる。図29は、一実施形態による水平アレイ搭載構造を示している。構造はLDPアンテナで示している。

【0193】

垂直非画像化アレイ。

【0194】

水平グライド・パス・アレイの代替形態は、垂直非画像化アレイである。この開発のた

10

20

30

40

50

めの本発明者らのアプローチは、SBOヌルを所望のグライドパス仰角に配置する通常の方法論からの逸脱するものであった。代わりに、グライドパス角度でコサイン関数を0にする（すなわち、CSBに対して直交するSBO）ように位相を調整することによって、グライドパス角度で0DDMを生成した、これは、非画像化垂直アレイに対して取られたアプローチであった。図30は、CSB及びSBO電力プロットに対する垂直画像のないアレイの仰角を示している。水平アレイについて図17を比較されたい。

【0195】

図31は、CSB及びSBO位相プロットに対する垂直画像のないアレイの仰角を示している。水平アレイについて図18を比較されたい。水平アレイ及び垂直アレイの両方について、SBO位相は、グライドパス角度においてCSBと直交することに留意されたい。

10

【0196】

図32に示すように、垂直アレイは、いくつかの実施形態によれば、1m、3.5m、及び6mの高さに離隔してマストに搭載された3個のアンテナを含む。中央アンテナは、適切なグライドパス信号を生成するために、上部アンテナと下部アンテナとの間の中間に搭載されなければならない。全体的な間隔は、（パッケージ及びセットアップ時間要件ごとの）比較的短いアンテナマストの必要性和、アンテナ位置許容差に対する空間内の信号の感度との間のトレードオフとして選択された。底部アンテナを1m未満に配置すると、望ましくない近接場効果を生じる。

【0197】

垂直アレイは、タイプMの従来のグライドパス画像化アレイに似ているが、それは完全に異なったものであり、短く、画像化なしで空間内で信号を生成し、CSBとSBOとの間の直交位相差をグライドパス上に設定する技術を使用する。

20

【0198】

図33は、非画像化垂直グライド・パス・アレイDDMに対する仰角の一実施形態を示している。破線は、ICA O Annex 10のDDMに関する制限を示す。DDMは3°の仰角で0であるが、図27のSBO振幅はその時点でヌルを有さないことに留意されたい。垂直アレイの物理的実施態様を図34に示している。より具体的には、図34は、いくつかの実施形態による垂直アレイ搭載構造を示している。マストは、コンパクトな実装及び迅速なセットアップのために伸縮式であり、強風時の剛性のためにワイヤで固定される。これは二重LPDアンテナで示している。いくつかの実施形態におけるアンテナを2倍にする必要性を、パワーバジェットに関して以下に説明する。

30

【0199】

ローカライザの一実施形態を以下に説明する。

【0200】

ローカライザ・アンテナ・アレイは、世界中でカテゴリーIのアプローチに使用されている標準的な8素子単一周波数（すなわち、クリアランス信号なし）アレイ構成に基づき得る。いくつかの実施形態では、通常のLPDアンテナ素子は、LPDよりも極めて小さくて軽量の二重ダイポール素子に置き換えられている。二重ダイポール素子は、一実施形態によれば、0.68m×1.36mを測定することができ、4.9dBi（アレイファクタを加えた）の利得を有する。二重ダイポールは、LPDよりもわずかに指向性が低い、これは、DDMパターンに小さいが、わずかな影響を及ぼし、送信機の電力要件もわずかに増加させる。アンテナ搭載システムは、小さい体積に実装され、迅速に立設されることを可能にするように修正されている。

40

【0201】

図35は、いくつかの実施形態によるローカライザ・アレイ・アンテナ素子及び支持構造の機械的設計を示している。支持構造は、出荷のためにコンパクトなユニットに縮小する。アンテナ素子は、二重ダイポールである。ダイポール間の3本の接続ロッドは、機械的剛性を付与するために使用される非導電性素子である。二重ダイポールアンテナは、LPDアンテナよりもわずかに指向性が低い。

【0202】

50

トレードオフの結果として、8素子アレイを選択してもよい。一般的に使用されるローカライザアレイのサイズは、8素子から32素子までの範囲である。素子が多いほど、アレイ開口が広くなり、開口が広いほど、ローカライザビームが狭くなる。狭いビームローカライザは、構造から外れたアプローチパスの側部へのマルチパス反射による信号劣化の影響を受けにくい。これらの実施形態では、8素子アレイのサイズが比較的小さいため、更にILSがカテゴリⅠのアプローチをサポートするだけでよい場合、広いビームが好ましい場合がある。

【0203】

ローカライザ信号は、異なる変調レベルを有することを除いて、以下の式に従って、グライドパス信号と同様に形成され、方位角0で、0 DDMを生成するように設計される。

10

$$DDM(\%) = 40 * \frac{|\vec{V}_{SBO}|}{|\vec{V}_{CSB}|} \cos[\psi(\vec{V}_{CSB}) - \psi(\vec{V}_{SBO})]$$

【0204】

図36及び図37は、CSB/SBO電力に対する方位角、及びDDMに対する方位角を示している。これらのプロットは、FEKOシミュレーションによって生成された。

【0205】

次に、上述したいくつかの実施形態の誤差及び／又は誤差感度について説明する。

20

【0206】

上記の図に示したプロットは、「理論的に完全な」システムのシミュレーションからのものである。しかしながら、実際のシステムに固有の多数の誤差源があるため、空間内の信号に対する既知の誤差の影響を推定するために、シミュレーションを実行してもよい。識別された誤差源は本質的にランダムであり、それらの大きさは時間的に変化する。各誤差源は、長期成分（すなわち、アプローチの数分の間に大きく変化しない成分）と、アプローチ中に大きく変化する短期成分と、を有すると仮定することができる。

【0207】

空間グライドパス角度における信号の長期及び短期変動には異なる限界があり得る。ICAO Annex 10及びFAA Order 8200.1の自然災害セクションには、長期要件であるグライドパス角度に「調整し維持する」制限がある。通常、従来の画像化グライド・パス・システムにおけるマルチパス反射によって引き起こされるグライドパス角度の短期の変動は、「構造」又は「屈曲」と呼ばれ、Annex 10及び8200.1の制限も有する。Annex 10は、DDMの単位で、95%の確率で屈曲を制限する。8200.1は、DDMに比例する航空機受信機出力を指すマイクロアンペア（μA）の単位を使用する。

30

【0208】

表2は、2つの要求文書における長期及び短期のグライドパス誤差制限をまとめたものである。表2のすべての制限は、度の単位に変換されている。なお、8200.1の制限は幾分緩く、これらがこのプログラムに適用可能な制限であると仮定され得る。表2は、Annex 10及び8200.1グライドパス誤差制限を示す。

40

【表2】

要求元	制限の調整及び維持 (長期)	構造制限 (短期)
ICAO Annex 10	± 0.225°	± 0.14°
FAA Order 8200.1	± 0.5°	± 0.21°

表2—グライドパス誤差制限

【0209】

分析される誤差源は、以下を含み得る。

50

ーアンテナ位置誤差この誤差は、設置許容差、並びに強風におけるアンテナ素子の動的移動を含む。誤差は、長手方向の位置誤差のみを含む。シミュレーションは、横方向位置誤差及び高さ位置誤差に対する感度がはるかに低いことを示している。

ー送信機電力変動。これは、主に温度及び経年劣化からの長期（すなわち、単一のアプローチよりも長い時間スケールにわたる）影響である。

ー送信機位相変動。すべてのアンテナにおけるすべての信号に共通の位相シフトは影響を及ぼさないが、各アンテナが別個の送信機によって駆動されるため、送信機は、10ピコ秒の許容差内で同期されなければならない。この許容差は、アンテナ間の少量の長期及び短期位相差をもたらす。

【0210】

モンテ・カルロ・シミュレーションを実行して、アンテナ位置、振幅及び位相の誤差によるグライドパス角度への影響を決定した。各誤差源に対して個別に30回のシミュレーションを実行し、更なる一連のシミュレーションを、すべての誤差源を所定の位置で実行した。誤差は、所与の範囲にわたって一様な確率分布を有するランダム値としてシミュレートされた。モンテ・カルロ・シミュレーション結果を示したプロットは、縦軸に誤差を加えた後のグライドパス仰角、横軸に試料番号を示す。各ドットは、1回のシミュレーションの結果をランダムな誤差で表している。いくつかのプロットは、グライドパス角度データにおいて、わずかなバイアスを示す。これは、わずかな（数100分の1度の）グライドパス角度オフセットを有するアレイが分析された結果であり、感度誤差の結果ではない。

【0211】

いくつかの水平グライド・パス・アレイ感度について以下に説明する。

【0212】

いくつかの長期誤差は、以下を含み得る。

ーアンテナ位置：長手方向の位置（滑走路に平行）を $\pm 5\text{ mm}$ 変動させた。これは、調整補正後の設置許容差であると仮定した。20 cmまでの2個のサブアレイ間の初期長手方向誤差を調整するための手順を以下に更に説明する。

ー電力変動：各アンテナへの電力を個別に $\pm 0.2\text{ dB}$ だけ変動させた。CSB及びSBO電力は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

ー位相変動：各アンテナに対する位相を個別に $\pm 2^\circ$ だけ変動させた。CSB及びSBO位相は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

【0213】

図38は、いくつかの実施形態による、水平アレイの長期アンテナ位置誤差影響を示している。図39は、いくつかの実施形態による、水平アレイの長期振幅誤差影響を示している。図40は、いくつかの実施形態による、水平アレイの長期位相誤差影響を示している。図41は、いくつかの実施形態による、水平アレイ合成長期誤差影響を示している。

【0214】

短期影響に対する感度。

【0215】

いくつかの短期誤差は、以下を含み得る。

ーアンテナ位置：長手方向の位置（滑走路に平行）を $\pm 5\text{ mm}$ 変動させた。これは、風からの動的変動であると仮定した。

ー電力変動：各アンテナへの電力を個別に $\pm 0.1\text{ dB}$ 変動させた。CSB及びSBO電力は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

ー位相変動：各アンテナに対する位相を個別に $\pm 1^\circ$ 変動させた。CSB及びSBO位相は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

【0216】

図42は、合成短期誤差影響を有する水平アレイの短期モンテカルロ結果を示している。これは、長期結果と比較して、グライドパス角度の変動がわずかに少ないことを示している。

【0217】

いくつかの垂直グライド・パス・アレイ感度について以下に説明する。

【0218】

いくつかの長期誤差は、以下を含み得る。

－アンテナ位置：長手方向の位置（滑走路に平行）を $\pm 5\text{ mm}$ 変動させた。これは、調整補正後の設置許容差であると仮定した。

－電力変動：各アンテナへの電力を個別に $\pm 0.2\text{ dB}$ 変動させた。CSB及びSBO電力は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

－位相変動：各アンテナに対する位相を個別に $\pm 2^\circ$ 変動させた。CSB及びSBO位相は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

10

【0219】

図43は、いくつかの実施形態による、垂直アレイアンテナの長期位置誤差影響を示している。図44は、いくつかの実施形態による、垂直アレイの長期振幅誤差影響を示している。図45は、いくつかの実施形態による、垂直アレイの長期位相誤差影響を示している。図46は、いくつかの実施形態による、垂直アレイの長期合成誤差影響を示している。

【0220】

短期影響に対する感度。

【0221】

いくつかの短期誤差は、以下を含み得る。

－アンテナ位置：長手方向の位置（滑走路に平行）を、上部アンテナでは $\pm 1.5\text{ cm}$ 、中央部では 0.75 cm 、下部では 0.38 cm 変動させた。3つの位置は、風によって曲げられたマストをシミュレートするために、ランダムであるが、相関している。

20

－電力変動：各アンテナへの電力を個別に $\pm 0.1\text{ dB}$ 変動させた。CSB及びSBO電力は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

－位相変動：各アンテナに対する位相を個別に $\pm 1^\circ$ 変動させた。CSB及びSBO位相は、相関すると仮定したため、同じ量だけ変動させた。

【0222】

図47は、いくつかの実施形態による、垂直アレイの短期合成誤差影響を示している。

【0223】

地形影響

30

【0224】

このプログラムについて分析されている水平及び垂直グライド・パス・アンテナ・アレイは、両方とも非画像化アレイである。画像化アレイとは異なり、それらは、地面からの反射に依存せず、空間内で適切な信号を生成する。しかしながら、それらは、地面反射からの影響を完全に受けないわけではない。

【0225】

これまでに示したシミュレーション結果には、地面からの反射の影響も含まれているが、地面は完全に平坦で均一な面であると仮定してもよい。この表面からの反射は、空間内の信号に最小限の影響しか及ぼさず、ほとんどの場合、低い仰角での放射電力レベルにのみ影響を及ぼす。アンテナの前の粗い地面が反射に影響を及ぼし、場合によっては空間内の信号を変化させる可能性がある。

40

【0226】

これらのグライド・パス・アレイのための空間内の信号に対する地面粗度の影響を正確にモデル化することは、困難で複雑である。本明細書に示した結果は暫定的なものであり、シミュレーションモデルが洗練されるにつれて、ひどく悲観的なものを示す可能性がある。

【0227】

シミュレーションを実行して、DDMに対する地形粗度の影響を決定し得る。計算を単純化するために、2次元の地面の正弦波高さを取得し、ランダムなプロセスによって修正し得る。

50

【0228】

地上高さは、以下によって計算され得る。

$$Z_{ground} = H \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{l}{CL} + g \right)$$

ここで、

- － Z_{ground} : 地上高さ
- － H : 最大地形高さ
- － l : アンテナアレイからの距離
- － CL : コヒーレンス長
- － g : アンテナ素子ごとに異なる地面をシミュレートし得るランダムパラメータ。

10

【0229】

水平アレイに対する地形影響については後述する。

【0230】

図48は、いくつかの実施形態による地面粗度からの水平アレイの影響を示している。メートル単位の H （地形ピーク高さ、粗度の測定値）及びメートル単位の CL （コヒーレンス長、ピーク間の距離の測定値）の様々な値について、 3° 仰角（グライドパス角度）並びに 2.3° 及び 3.7° （グライドパスセクタのエッジ）における DDM を図38に示している。シミュレーションからの100個のサンプルをそれぞれの場合について示す。最大の DDM 偏差は、大きい粗度高さ、及び小さいコヒーレンス長で生じたことに留意されたい。

20

【0231】

垂直アレイに対する地形影響を以下に説明する。

【0232】

図49は、いくつかの実施形態による、地面粗度からの垂直アレイの影響を示している。垂直アレイは、水平アレイよりも地面粗度の影響を受けやすい。粗度は、パス幅並びにグライドパス角度に影響を及ぼす。

【0233】

パワーバジェット

30

【0234】

以下では、水平アレイ及び垂直アレイを用いてグライド・パス・カバレッジ要件を満たすために必要な送信機電力の分析について説明する。

【0235】

この分析では、アンテナごとに1個の送信機を仮定している。これは、ローカライザアレイ（8アンテナ）及び水平グライド・パス・アレイ（10アンテナ）の場合、総電力要件が、相当多数の送信機に分散されることを意味する。この分析は、指向性を高めるために、垂直アレイ内のアンテナの一部を、並んで配置された2つ以上のアンテナに置き換える必要があることを示している。この場合、各アンテナは依然として、別個の送信機によって駆動され、その結果、送信機ごとの必要な電力が少なくなる。必要なアンテナの数は、選択されたアンテナタイプ（ビバルディ、LDPなど）の指向性に依存する。パワーバジェット分析は、10nm（T）又は20nm（O）の距離カバレッジ要件を仮定した。

40

【0236】

水平グライド・パス・アレイの評価

【0237】

空間内の信号。このアレイは、適切な幅（ DDM 仰角傾斜）で $2.5^\circ \sim 3.5^\circ$ の間のグライドパス角度設定を有する空間で信号を生成することができる。方位角のカバレッジ範囲は、クリアランスを含めて $\pm 5^\circ$ より僅かに大きい。垂直アレイのものよりも少ないが、方位角のカバレッジは、アレイが8200.1の制限に従って飛行検査に合格するために十分であり、これは、アプローチ上の $ICAO Annex$ 「地点A」（閾値から

50

4 nm)における方位角の範囲を測定する。

【0238】

感度。FAA Order 8299.1は、所望の角度又は公認角度 (commissioned angle) の $\pm 0.5^\circ$ のグライドパス角度許容差を指定している。図41に示すグライドパス角度の広がり、この許容差範囲内に十分に収まっており、数百のシミュレーションで現れるであろう、わずかな増加を可能にする。2個のサブアレイ間の距離 (120m~160m) が大きい、ため、緊密な同期を維持することは、このアレイにとって困難である。本発明者らは、20cmまでの長手方向の位置誤差を電子的に補正し得るドローンを使用した調整手順を考案した。アプローチパスの屈曲を引き起こす短期誤差に対する感度は、長期感度よりもわずかに低いことが示された。DDM短期変動は、FAA Order 8200.1構成限界の $\pm 0.21^\circ$ ($\pm 45 \mu A$) 以内に十分収まっている。

10

【0239】

実装：10個のアンテナ及びそれらの支持構造を小さい体積内に実装することは困難である。いくつかのアンテナタイプ (LPD、ダイポール、ビバルディ) が検討されており、サイズと、電気性能とのトレードオフである。各5素子サブアレイ (前部及び後部) は、単一の伸縮式構造に搭載される。

【0240】

設置：基準点は、着陸点とは反対の滑走路の側に確立される。各サブアレイの位置は、「トータルステーション」測量装置を使用して基準点に対してマークされ、これは本質的に、第2の角度精度及びミリメートルレベルの範囲精度を円弧状にすることができる合成デジタルセオドライト及びレーザレンジファインダである。物理的レイアウトは、電子的に調整される割り当てられた周波数及びグライドパス角度にかかわらず同じである。サブアレイ間の距離は重要ではないが、サブアレイは、センチメートル精度で滑走路に対して垂直でなければならない。

20

【0241】

粗い地面性能。暫定的なシミュレーションは、このアレイの空間内の信号が、 $H=0.2m$ 、 $CL=2m$ の場合を除いて、地面粗度の影響をわずかに受けることを示している。これらの結果が、どの程度現実的であるかを評価するために、更なる作業が必要である。図50は、水平アレイの反射領域を示している。これらの領域内の地面は、適度に滑らかである必要がある。このとき、「適度に」を定量化することは困難である。これらの領域の外側の地面反射は、ローカライザ及びグライド傾斜セクタ境界によって画定される空間の全体的なアプローチ体積内で、空間内の信号に影響を及ぼさない。図の水平軸は、アンテナアレイから、メートル単位の長手方向距離であり、垂直軸は、滑走路中心線からの横方向距離である。アンテナオフセットを40mであると仮定した。

30

【0242】

パワーバジェット：このアレイは、従来のヌル基準画像化グライド・パス・アレイよりも多くの送信機電力を必要とするが、同じ電力でもカバレッジ要件を満たす空間内の信号を生成する。

【0243】

垂直アレイの評価

【0244】

空間内の信号。このアレイは、適切な幅 (DDM仰角傾斜) で $2.5^\circ \sim 3.5^\circ$ の間のグライドパス角度設定を有する空間で信号を生成することができる。方位角の範囲は、アンテナ素子の放射パターンによってのみ制限されるため、無指向性アンテナでは理論的には 360° である。

【0245】

感度。FAA Order 8299.1は、所望の角度又は公認角度 (commissioned angle) の $\pm 0.5^\circ$ のグライドパス角度許容差を指定している。図46に示している長期のグライドパス角度の広がり、この許容差範囲内に十分に収まって

50

おり、数百のシミュレーションで現れるであろう適度な増加を可能にする。図 4 7 に示す、短期的なアンテナ位置、電力及び位相の変動に対するこのアレイの感度は、強風におけるマストの屈曲から上部アンテナ内で最大 1.5 cm の動きが起きる場合でも、要件内で問題はない。

【0246】

実装：このアレイは、折り畳み可能なマストに加えて 3 個のアンテナ素子（一部のアンテナは 2 倍にされてもよいが、依然として単一のマストに搭載されている）のみを含むコンパクトな実装に適している。

【0247】

設置：このアレイの 1 つの構成要素（マスト）のみを現場に、正確に配置する必要がある。3 本のアンテナの高さは、1 cm の許容差内で制御される必要がある。物理的レイアウトは、ARU を介して電子的に調整される、割り当てられた周波数及びグライドパス角度にかかわらず同じである。

【0248】

粗い地面性能。暫定的なシミュレーションは、このアレイの空間内の信号が、 $H = 0.2$ m、 $CL = 2$ m の場合を除いて、地面粗度の影響をわずかに受けることを示している。これらの結果が、どの程度現実的であるかを評価するために、更なる作業が必要である。図 5 1 は、垂直アレイの反射領域を示している。この領域内の地面は、適度に滑らかである必要がある。このとき、「適度に」を定量化することは困難である。この領域外の地面反射は、ローカライザ及びグライドスロープのセクタ境界によって画定される空間の全体的なアプローチ体積内で、空間内の信号に影響を及ぼさない。図の水平軸は、アンテナアレイから、メートル単位の長手方向距離であり、垂直軸は、滑走路中心線からの横方向距離である。アンテナオフセットを 40 m であると仮定した。

【0249】

パワーバジェット：大型で重い ARU にしないために、2 つ以上のアンテナをマストに並べて搭載して、アレイの指向性を高める必要があり得ることを、パワーバジェット分析は示した。この場合、各アンテナは別個の送信機によって駆動される。

【0250】

比較

【0251】

表 3 は、いくつかの実施形態による、水平及び垂直グライド・パス・アレイ特性の比較を示す。表 3 は、水平及び垂直グライド・パス・アレイの相対強度を示し、「+」は好適な性能を示し、「-」は不適な性能を示し、「0」は他のアレイと等しい性能を示す。

10

20

30

40

50

【表 3】

性能要因	水 平 G P アレイ	垂 直 G P アレイ	コメント
長期の空間内信号 安定性	0	0	両方のアレイは、アンテナ位置、送信 機電力、及び位相安定性に課される適 度な許容差で要件を満たす。
短期の空間内信号 安定性	0	0	両方のアレイは、アンテナ位置、送信 機電力、及び位相安定性に課される適 度な許容差で要件を満たす。
方位角のカバレッ ジ	－	＋	水平アレイは、A n n e x 10 方位 角のカバレッジ要件を満たさないが、 水平アレイに関する8200.1 方位 角のカバレッジ要件を満たす。
コンパクトな実装	－	＋	2 個の水平5 素子サブアレイに対する 単一3＋素子垂直アレイ
短いセットアップ 時間	－	＋	2 個の水平5 素子サブアレイに対する 単一3＋素子垂直アレイ
粗い地面環境での 性能	＋	－	結果は暫定的である。
パワーバジェット	＋	－	比較は、垂直アレイの素子の数に依存 する。
信頼性	0	0	両方のアレイタイプは、準拠信頼性数 をサポートすることが期待される。
横方向マルチパス	＋	1	垂直アレイビーム幅は、選択されるアン テナ素子タイプに依存する。

表 3－水平及び垂直グライド・パス・アレイ特性の比較

【0 2 5 2】

トレードオフの例

【0 2 5 3】

表 4 は、いくつかの実施形態による、ローカライザ及びグライド・パス・アンテナ・ア
レイのトレードオフを示す。

10

20

30

40

50

【表 4】

トレードオフ	コメント
ローカライザ開口に対する信号のマルチパス劣化	大きい開口（多くのアンテナ素子）は、マルチパス干渉の可能性を低減する狭いビームを提供する。8 素子ローカライザアレイは、本出願にとって適度な妥協点であると考えられた。
アンテナ素子の水平アレイ数に対する方位角のカバレッジ範囲	方位角のカバレッジの増大は、大きい横方向距離にわたって広がる多くのアンテナを必要とする。10 素子アレイは、適切な方位角のカバレッジを提供することが見出されたもので最小のものであった。
送信機電力に対するアンテナ数	アンテナごとに1 個の送信機があるので、多くのアンテナを有することは、一般に、送信機ごとに必要な電力が少ないことを意味する。2 個のGPアンテナ素子を並べて配置することにより、指向性が高まり、送信機の電力要件が低減される。
アンテナの高さに対する送信機電力要件	ローカライザ又はGPアンテナを高く上げると、送信機の電力要件が低減するが、位置安定性を確保するために必要な機械的搭載部のサイズ及び複雑さが増大する。
GPアレイタイプに対する方位角のカバレッジ	水平アレイは、制限された方位角の範囲を有し、垂直アレイは、アンテナ素子ビーム幅によってのみ制限された方位角の範囲を有する。

10

20

表 4ーローカライザとグライド・パス・アンテナ・アレイ・トレードオフ

【0254】

結論。

【0255】

ローカライザ8 素子アレイは、空間においてICAO Annex 10 信号を提供する。出荷のためにコンパクトな体積に折り畳まれ、迅速に設置され得る伸縮式支持構造が設計されている。調整は、空間内信号測定を行うドローンの支援により、完全に電子的に（ケーブルトリミング又はアンテナ位置調整なしに）達成され得る。ドローンはまた、いくつかの重要な飛行検査測定を実行し得る。

30

【0256】

水平グライド・パス・アレイは、方位角のカバレッジを除いて、空間内にICAO Annex 10 準拠の信号を提供する。しかしながら、その方位角のカバレッジは、FAA Order 8200.1 の飛行検査要件を満たすのに十分である。2 個の伸縮式支持構造は、出荷のためにコンパクトな体積に折り畳まれ、迅速に設置され得る。調整は、空間内信号測定を行うドローンの支援により、完全に電子的に（ケーブルトリミング又はアンテナ位置調整なしに）達成され得る。ドローンはまた、いくつかの重要な飛行検査測定を実行し得る。

40

【0257】

垂直グライド・パス・アンテナは、方位角のカバレッジ要件を含む、空間内にICAO Annex 10 準拠信号を提供する。伸縮式マストハットは、出荷のためにコンパクトな体積に折り畳まれ、迅速に立設され得る。調整は、空間内信号測定を行うドローンの支援により、完全に電子的に（ケーブルトリミング又はアンテナ位置調整なしに）達成され得る。一部のアンテナは、選択されたアンテナ素子タイプに応じて、十分な電力マージンを実現するために2 倍又は3 倍にする必要がある場合がある。

【0258】

カバレッジ及びパワーバジェット

【0259】

50

次に、様々な実施形態における導出された要件を説明する。いくつかの実施形態は、ローカライザ及グライド・パス・システムの必要なカバレッジを実現するために必要な A R U 送信電力の推定の分析に関する。

【0260】

カバレッジは、アレイ形状、並びに G P 及び L O C にとって新規のアンテナ素子に依存する。

【0261】

分析は、以下の2つのアプローチで実施される。

- a) 現在のシステムとの実地的な比較
- b) 要件との理論的比較。

10

【0262】

ローカライザ

【0263】

アプローチ1：現在のシステムとの実地的な比較

【0264】

中央アンテナ（1 R 及び 1 L）に接続された A R U の送信機電力は、最大電力で現在のシステムと同じフィールド強度を実現するように計算される。図 5 2 は、現在のシステム及び P I L S システムの構成を示している。この図では、2 個のアレイが同じであるため、方位角のアレイ利得（約 9.5 dB）は考慮されていない。

【0265】

方位角 = 0°、距離 46000、高度 600m（仰角 0.75°）の受信機：

－現在のシステム：8 個の L P D アンテナ、 $h_{ANT} = 3\text{m}$ ：

素子利得 = +10 dB

仰角利得 = $20 * \log [2 * \sin (2\pi / \lambda * h_{ANT} * \sin (0.75^\circ))]$
] = -15 dB

－P I L S システム：8 個の H - ダイポールアンテナ、 $h_{ANT} = 2\text{m}$ ：

素子利得 = +5 dB

仰角利得 = $20 * \log [2 * \sin (2\pi / \lambda * h_{ANT} * \sin (0.75^\circ))]$
= -18.5 dB

20

【0266】

L P D 素子（G = 10 dB）の代わりに H ダイポール素子（G = 5 dB）が使用され、それらが典型的な 3m の高さ（3.5 dB より高い仰角損失）に対して 2m まで下げられる場合、P I L S システムの総アンテナ利得は、拡張された中心線の上方で従来のシステムよりも 8.5 dB 低い。

30

【0267】

P I L S システムが、（中央アンテナにおける最大搬送波電力が 3W である）従来のシステムと同じフィールド強度を保証しなければならない場合、中央アンテナ（1 R 及び 1 L）に接続された A R U の最大搬送波電力は、8.5 dB 高くなければならず、すなわち約 20W でなければならず、これは許容されない。

【0268】

P I L S システムの1つの利点は、そのような送信電力では実現され得ない A R U のコンパクトさ及び質量である。したがって、現在のシステムの実際のマージンを推定して、新規のアンテナを用いて送信機全体の電力の可能な低減を探索することが重要である。

40

【0269】

アプローチ2：現在のシステムとの理論比較

【0270】

フィールド強度の値は、I C A O カバレッジ要件に対する理論的マージンを評価するために、中央アンテナにおける A R U 送信電力が 20W である場合に計算される。

要件：2つの重要な点で電力密度 = -114 dBW/m^2 ：

- a. 距離 = 46000m（25 NM）、高度 = 600m（すなわち、 $\theta = 0.75^\circ$ ）

50

、方位角 = 0° において

b. 距離 = 31000 m (17 NM)、高度 = 600 m (すなわち、仰角 = 1.1°)

、方位角 = 35° において

計算：

電力密度 = 送信機電力 - 自由空間損失 + アンテナ利得

ここで、

送信機電力 = 20 W = $+13\text{ dBW}$

自由空間損失 = $10 * \log(4\pi R^2)$ は距離 R に依存する：

a. $R = 46000\text{ m}$ において、損失は、 $+104\text{ dB/m}^2$

b. $R = 31000\text{ m}$ において、損失は、 $+100.5\text{ dB/m}^2$

アンテナ利得 = 素子利得 + アレイ利得 + 仰角利得

・素子利得は主に受信機方位角 ϕ に依存する：

a. $\phi = 0^\circ$ において、利得は、 $+5\text{ dB}$ である

b. $\phi = 35^\circ$ において、利得は、 $+1\text{ dB}$ である

・アレイ利得は主に受信機方位角 ϕ に依存する：

a. $\phi = 0^\circ$ において、利得は、 $+9.5\text{ dB}$ である

b. $\phi = 35^\circ$ において、利得は、 -3.5 dB である

・仰角利得は、受信機仰角 θ に依存する： $(20 * \log([2 * \sin(2\pi/\lambda * h_{ANT} * \sin\theta)])$

a. $\theta = 0.75^\circ$ において、利得は、 -18.5 dB である

b. $\theta = 1.1^\circ$ において、利得は、 -15 dB である

最終的に：

a. 距離 = 46000 m (25 NM)、高度 = 600 m (すなわち、 $\theta = 0.75^\circ$)

、方位角 = 0° において

電力密度 = $+13\text{ dBW} - 104\text{ dB/m}^2 + 5 + 9.5 - 18.5\text{ dB} = -95\text{ dBW/m}^2$

b. 距離 = 31000 m (17 NM)、高度 = 600 m (すなわち、仰角 = 1.1°)

、方位角 = 35° において

電力密度 = $+13\text{ dBW} - 100.5\text{ dB/m}^2 + 1 - 3.5 - 15\text{ dB} = -105\text{ dBW/m}^2$

【0271】

図53は、方位角に対する振幅の変化を示す、8素子を有するローカライザのCSBパターンのグラフである。 20 W の送信機電力では、要件に対するマージンは、コースセクタ内の 25 NM で、約 20 dB であるが、クリアランスエッジでは 17 NM で、約 10 dB である。

【0272】

コースセクタで 10 dB まで、及びクリアランスエッジで 0 dB まで（アレイパターンをわずかに変更することによって緩和され得る）、マージンが低減された場合、中央アンテナで必要とされる搬送波電力は、適度な値である 2 W まで低減することができる。

【0273】

グライドパス（水平バージョン）

【0274】

アプローチ1：従来のシステムとの実際的な比較

【0275】

中央アンテナ（F3及びR3）に接続されたARUの送信機電力は、最大電力で現在のシステムと同じフィールド強度を実現するように計算される。図54は、従来のシステム及びPILS水平システムの構成を示している。

【0276】

仰角 = 3° 、距離 18500 m (10 NM)、方位角 = 0° での受信機：

－従来の（ヌル基準）システム：2個の垂直カトレインアンテナ（CSBアンテナ $h =$

10

20

30

40

50

4. 3 m) :

素子利得 = + 1 0 d B

アレイ利得 (画像のみによる) = + 6 d B

- P I L S システム : 1 0 個の水平ビバルディアンテナ (h = 1 . 5 m) :

素子利得 = + 3 d B

アレイ利得 = + 1 4 d B

【 0 2 7 7 】

水平アレイが選択され (垂直アレイの 6 d B の代わりに $G = 1 4 \text{ d B}$)、ビバルディ素子が使用される場合 (カトレイン素子の 1 0 d B の代わりに $G = 3 \text{ d B}$)、P I L S システムの全アンテナ利得は、典型的な仰角 (3°) で 1 d B 高い。

10

【 0 2 7 8 】

P I L S システムが、(C S B アンテナにおける最大搬送波電力が 4 W である) 従来のシステムと同じフィールド強度を保証しなければならない場合、中央アンテナ (F 3 及び R 3) に接続された A R U の最大搬送波電力は、1 d B 低くなくならず、すなわち、約 3 . 2 W でなければならず、これは許容できない。

【 0 2 7 9 】

実際、クリアランス電力も、方位角の範囲をカバーすると考えなければならず、全送信機電力の 2 倍 (6 . 5 W) が必要であり、これは、軽量 A R U を設計したい場合には大きすぎる (G P の場合、全振幅変調は 8 0 % であるので、ピーク電力は搬送波電力のほぼ 4 倍であることを考慮しなければならない)。したがって、従来のシステムの実際のマージンを推定して、新規のアンテナを用いて送信機全体の電力の可能な低減を探索することが重要である。

20

【 0 2 8 0 】

アプローチ 2 : 要求事項との理論比較

【 0 2 8 1 】

フィールド強度の値は、I C A O カバレッジ要件に対する理論的マージンを評価するために、中央アンテナにおける A R U 送信電力が 3 . 2 W である場合に計算される。

要件 : 2 つの重要な点で電力密度 = $- 9 5 \text{ d B W} / \text{m}^2$:a . 距離 = 1 8 5 0 0 m (1 0 N M)、仰角 = 3° においてb . 距離 = 1 8 5 0 0 m (1 0 N M)、仰角 = $0 . 9^\circ$ において

30

計算 :

電力密度 = 送信機電力 - 自由空間損失 + 素子利得 + アレイ利得

ここで

送信機電力 = 3 . 2 W = + 5 d B W

自由空間損失 = $10 * \log (4 \pi R^2) = 9 6 . 3 \text{ d B} / \text{m}^2$ (距離 = 1 8 5 0 0 m において)

素子利得 = + 3 d B (ビバルディ、グライドパスの角度セクタ全体で均一)

アレイ利得は受信機仰角 θ に依存する :a . $\theta = 3^\circ$ において、利得は、+ 1 4 d B であるb . $\theta = 0 . 9^\circ$ において、利得は、0 d B である

40

【 0 2 8 2 】

最終的に :

a . 仰角 = 3° で、電力密度 = $+ 5 \text{ d B W} - 9 6 . 3 \text{ d B} / \text{m}^2 + 3 + 1 4 \text{ d B} = - 7 4 . 3 \text{ d B W} / \text{m}^2$

b . 仰角 = $0 . 9^\circ$ で、電力密度 = $+ 5 \text{ d B W} - 9 6 . 3 \text{ d B} / \text{m}^2 + 3 + 0 \text{ d B} = - 8 8 . 3 \text{ d B W} / \text{m}^2$

【 0 2 8 3 】

図 5 5 は、グライドパスの C S B パターンを示すグラフである。3 . 2 W の送信機電力では、要件に対するマージンは、典型的なグライドパス角度では、約 2 0 d B であるが、最低仰角では、約 7 d B である。

50

【0284】

マージンが、 3° で15 dB、 0.9° で2 dBに低減されると、中央アンテナで必要な搬送波電力は、適度な値である1 W（コース）+ 1 W（クリアランス）に低減され得る。

【0285】

グライドパス（垂直バージョン： $h = 1\text{ m}$ 、 3.5 m 、 6 m ）

【0286】

垂直バージョン（+2 dB）のアレイ利得は、アンテナ数がより少ないこと、並びにCSB信号の特定の電力及び位相分布に起因して、水平バージョン（+14 dB）のアレイ利得よりもはるかに低い。したがって、カトレイン（10 dB）の代わりにビバルディアンテナ（3 dB）も使用される場合、中間アンテナに接続されたARUの送信機電力は、最大電力で従来のシステムと同じフィールド強度（電流とも呼ばれる）を実現するために、50 Wでなければならない。図56は、従来のシステム、いくつかの実施形態によるPIL水平システム、及びいくつかの実施形態によるPILS垂直システムを示している。

【0287】

これは、ほとんどの要件の下で許容できない、したがって、送信機又は好適にはアンテナを増やす必要がある。

【0288】

アンテナの中間の高さに4個の素子が搭載される（最終的には、CSB電力をあまり必要としない、低いアンテナ及び高いアンテナについては2個のみである）場合、方位角指向性は、12 dBだけ増加し（横方向のカバレッジを犠牲にするが、これは方位角の値が大きい場合の問題ではない）、ヌル基準に対して2 dBのみのマージン損失が許容される場合、送信機電力を3 W又は2 Wに低減することができる。図57は、いくつかの実施形態によるPILS垂直システムを示している。

【0289】

90 Hz信号と150 Hz信号との間の復調深度が公称グライドパスの周りでゼロになるように、個々のアンテナ信号は配置される。上部アンテナには、 1.5° で第1の最大値を有し、 3° でヌルを有する90 Hz及び150 HzのSBOが供給される。変調深度は、典型的には、中心線において、及びGP角度上でそれぞれ、90 Hz及び150 Hzの変調信号の各々について、GPで0.4、及びLOCで0.2であり、2つの変調深度は等しい。

【0290】

復調深度の差（DDM）は、アプローチガイダンスのために航空機によって使用される信号である。アプローチパス上にセンタリングした場合、90 Hz変調信号と150 Hz変調との間の差はゼロである。公称コースから逸脱したときにのみ、それは、左側（LOC）又は上側（GP）の90 Hz、及び右側（LOC）又は下側（GP）の150 Hzの優先権により非ゼロになる。

【0291】

復調深度の合計は、センタリングした場合、90 Hz及び150 Hzの変調の合計であるため、通常、GPで0.8又は80%であり、LOCで0.4又は40%である。SDMは、送信機の故障又はコース・クリアランスの遷移に起因して、あるいは予期しないフィールド影響に起因して、公称値と異なる可能性がある。合計は非ゼロであるため、公称パス上にセンタリングした場合、監視信号として好適である。公称パス以外では、SDM及びDDMの両方は、非ゼロであり、監視入力として好適である。公称パスでは、GPについてSDM=80%（及びLOCについて40%）、及びDDM=0%であり、公称パスSDM以外は、依然として80%又は40%であり、DDMは0%ではない。公称パス上では、監視信号として、DDMがSDMよりも重要である。

【0292】

いくつかの実施形態では、グレード・パス・アレイは、ヌル基準及びmタイプ・グライド・パス・アレイのうちの1つを備える。例えば、ヌル基準GPは、垂直に配置された2本のアンテナを使用する。下部アンテナには、90 Hz及び150 Hzのトーンで等しく

10

20

30

40

50

変調されたCSB基準信号が供給される。地面は、画像化表面として使用される（実質的に4個のアンテナがGP信号を提供する）。画像化アンテナと共に、 3° で第1の最大値を有し、 6° で第1のヌルを有するフィールドが得られる（追加の最大値及び最小値を超える）。

【0293】

別の例では、Mタイプ（キャプチャ影響）GPは、ヌル基準タイプと同様に、GPの画像化タイプである。しかし、ヌル基準と比較して、それは地形に対してやや感受性が低い。MタイプGPは、垂直に配置された3個のアンテナ素子を使用する。すべてのアンテナはSBO信号で駆動される。下部アンテナ及び中間アンテナも、CSB信号で駆動される。上部アンテナ及び下部アンテナのためのSBO信号は、負の位相角を有し、一方、中間アンテナのためのSBOは、振幅が大きいことに加えて $+180^\circ$ の位相シフトを有する。中間アンテナのためのCSBは、公称振幅を有し、位相シフトを有さず、一方、下部アンテナのためのCSBは、増大した振幅及び $+180^\circ$ の位相シフトを有する。空間変調後にファイルされて生じるものは、画像化表面のサイズの低減をもたらす。

【0294】

LPD素子（水平及び垂直バージョンの両方）を備えたグライドパス

【0295】

前のセクションでは、ビバルディアンテナ（フィーダ及びケーブル損失を含む3dB利得を有する）が、アレイの素子として考慮されている。このアンテナは、約5dBのシミュレートされた指向性を有し、これは、フィーダ損失（1.5dB）及びケーブル損失（0.5dB）も考慮される場合、3dBに等しい利得に対応する。

【0296】

LDP要素（タレスGP12システムで使用される）が考慮される場合、その大きい指向性（9dB）のために、ARUに必要な電力は低くなる。2dB損失では、素子利得は、7dBである。したがって、送信電力は約4dB低くなり：

－水平アレイの場合：0.5Wコース＋0.5Wクリアランス未満

－垂直アレイの場合：1W未満、又は代替的に、8本のアンテナの代わりに4本のアンテナを有する2W

【0297】

水平アレイ位置誤差調整

【0298】

いくつかの実施形態による図58に示すように、2個のアレイグループ（100mを超える距離）が、滑走路方向に沿って大きな静的誤差（最大20cm）で配置される場合、GP角度は、送信機の位相調整によって補正され得る。

【0299】

理論的説明

【0300】

ここで、補正が実行可能である理由を簡単に説明する。水平GPの動作原理は、前方グループ及び後方グループがGP角度のみで逆位相の2つのSBO信号を放射し、その角度で0DDMを生成することである。これは、例えば、2個のアレイ間の距離が $\cos(3^\circ)$ で除算された半波長の奇数倍であり、SBO送信機が同相である場合に、実現され得る。実際、この場合、2個のアレイから来る2つの信号は、（「誤差なし」について、図59の上側に示すように）逆位相で受信機に到来する。

【0301】

ここで、距離が正確に公称値ではない場合、 3° において、2個のアレイから来る2つの光線は、（「誤差」について、図59の上側に示すように）位相変位 $\Delta\psi$ で受信機に到来し、それは、同じ位相量 $-\Delta\psi$ によって2個のグループの送信機を位相緩和（dephasing）することによって容易に補償され得る。

【0302】

（5＋5）アレイによる $\pm 10\text{ cm}$ の変位の例

【0303】

以下のプロットは、約120m離れた、つまり中心線から40mオフセットした2個の5素子アレイから構成されるシステムを指すが、2個のグループ間の距離、例えば160mのいずれであっても同じ考慮事項が適用される。

a) 動作周波数が332MHzであるとき、2個のアレイ間の距離は、

$$D = (2 \times 66 + 1) * c / f / \cos(3^\circ) = 121, 16 \text{ m}$$

【0304】

この理想的な条件（誤差なし）では、DDMは、図60のグラフに示す3°aで、0である。

b) 2個のグループが、滑走路方向に10cmの誤差で搭載されている場合、

$$D' = 121, 16 \text{ m} + 10 \text{ cm}$$

DDMは、3°ではなく、3.8°で、0である。新規の距離を正確に測定できない場合、後で説明し、図61のグラフに示すように、ヌルの位置は、変位誤差の方向及び量の指示を与える。

c) 後方グループのSBO（及び幅対称性を維持するためにCSB信号にも）に、位相補正 $\Delta\psi$ が適用される場合、

$$\Delta\psi(\text{SBO}) = +40^\circ$$

必要に応じて、DDMは、3°で、0である。位相補正は、後述する理論的な説明（ $\Delta\psi = 360 * \Delta d / \lambda$ ）から明らかなように、位置誤差に比例する。この値は、位置誤差が分かっている場合には直接適用することができ、そうでなければ、公認（committed）GP角度でゼロDDM条件を見つけるために反復手順が必要である。しかしながら、実際のGP角度が実際の環境挙動に起因して理論値に対して異なり得るので、この手順はとにかく必要である。図62は、グライドパスのDDMのグラフを示している。

d) 逆に、位置誤差が反対方向（すなわち、グループが近接している）である場合、

$$D' = 121, 16 \text{ m} - 10 \text{ cm}$$

DDM 0角度は、1.9°であり、3°を上回る代わりに、3°を下回る（しかし、その差は前の場合と同じ量ではない）。図63は、いくつかの実施形態によるグライドパスのDDMを示している。

また、適用される位相補正は反対方向（及び前の場合と同じ量）である。

$$\Delta\psi(\text{SBO}) = -40^\circ$$

【0305】

概要

【0306】

上記の例は、位置誤差が知られていない場合、DDMが0である角度の暫定的な測定値が、適用されるべきSBO位相補正の符号及び量の極めて良好な指示を与えることを示している。この知識は、所望されたものから極めて遠い状態から開始して、GP角度を微調整するのに必要な時間を最小限に抑え得る。

【0307】

実際、以下の表5は、初期位置誤差の各値について、角度DDMが0であり、3°で0DDMを達成するためにどのSBO（及びCSB）位相の値を適用しなければならないかを、まとめたものである。

10

20

30

40

50

【表 5】

位置誤差	0 D D M 角度	送信機位相補正
(c m)	(度)	(度)
— 2 0	6 , 9	— 8 0
— 1 5	0 , 9	— 6 0
— 1 0	1 , 9	— 4 0
— 5	2 , 5	— 2 0
— 2	2 , 8	— 8
— 1	2 , 9	— 4
0	3	0
+ 1	3 , 1	+ 4
+ 2	3 , 2	+ 8
+ 5	3 , 4	+ 2 0
+ 1 0	3 , 8	+ 4 0
+ 1 5	4 , 2	+ 6 0
+ 2 0	4 , 5	+ 8 0

表 5 - 0 D D Mを実現するための S B O（及び C S B）位相の値

【 0 3 0 8 】

位相補正は位置誤差に線形に比例する一方で、0 D D M角度は、比例するが厳密に線形ではなく、更に、2個のグループが15 cmを超える理論値よりも近い場合、0 D D Mは0°に収まるので、6°を超える2番目の「S B Oヌル」で、0 D D M条件を探索しなければならず、これは実際には困難である。図64は、後方グループに対する前方グループの例示的な位置誤差をcm単位で示している。

【 0 3 0 9 】

最後に、それは、（他の文書で定義されている適切な精度及び安定性を有する）すべてのアンテナの固定位置が、任意の周波数（328.6 MHz～335.4 MHz）、及び任意のグライドパス角度（2.5°～3.5°）について、空間内で適切な信号を生成することができることを容易に実証し得る。

【 0 3 1 0 】

アンテナ位置が固定されると、実際には、インフィールドプログラマブルである送信機の最も適切な位相（S B O及びC S B、前後）を選択するだけで、現場動作周波数での公認グライドパス角度を調整することが可能である。

【 0 3 1 1 】

決定された値は、第1のプロトタイプのフィールドで検証されると、周波数及び公認角度の関数として、E E P R O M（制御ユニット又はA R Uのいずれか）に記憶されてもよい。

【 0 3 1 2 】

これらの値は、次に、特定の環境内で、空間内の信号を微調整するために必要とされるインフィールド調整手順の開始点として使用されることになる。

【 0 3 1 3 】

ローカライザ及びグライドパス機械的構造

【 0 3 1 4 】

いくつかの実施形態では、ローカライザ及びグライドパスは、個々のアンテナを保持す

る機械的構造を使用し、素子が事前にケーブル接続されるように、アンテナに近接している A R U、C U。例えば、機械的構造は、アンテナ、A R U、及び C U を含むすべての部品を保持する。A R U は、A R U が駆動するアンテナに近接しているか、又はアンテナに直接結合される。構造上のすべての素子は、事前にケーブル接続されおり、これにより、輸送のために、構造のケーブルを取り外す必要がない。機械的構造自体は、全体構造の中央から外側に向かって幅が減少する複数の入れ子式の短いトラスフレームを使用して、軽量材料で設計される。トラスフレームは、短いトラス要素を押し込むことによって、輸送のために小型化され、それらを引っ張ることによって現場で引き出され得る。引き出し可能及び格納可能な構造は、極めて短いセットアップ時間及び解体時間を可能にする。

【0315】

トラスフレームは、破碎性を確保するために、過剰な力で衝撃を受けたとき、その要素内で壊れるように構築されている。トラスフレームは、風荷重を含む通常の動作範囲におけるすべての力の限界内で剛性であるように構築される。滑走路の横方向における個々のアンテナ位相中心間の差が、搬送波の同期を保証するために許容される最大値（例えば、5 mm）よりも小さくなるように、剛性は、個々のアンテナ位相中心の十分に小さい変動を保証する。

【0316】

L O C 及び G P アンテナは、搬送のためにそれらを折り畳むことを可能にする接合部を有するポール上のトラスフレームに搭載される。更に、アンテナには、滑走路の横の位置の調整を可能にする調整可能なトラックが搭載される。ポールは、トラスフレームに取り付けられた入れ子式の管からなり、アンテナ高さの垂直調整を可能にする。アンテナ位置の機械的調整は、個々の L O C 信号及び G P 信号の電子同期校正のための探索空間を低減するために実施される。

【0317】

更なる定義及び実施形態を以下に説明する。

【0318】

本発明概念の様々な実施形態の上記説明において、本明細書で使用される用語は、特定の実施形態のみを説明するためのものであり、本発明概念を限定することを意図するものではないことを理解されたい。特に定義されない限り、本明細書で使用されるすべての用語（技術用語及び科学用語を含む）は、本発明概念が属する技術分野の当業者によって一般的に理解される意味と同じである。一般的に使用される辞書で定義されているような用語は、本明細書及び関連技術の文脈におけるそれらの意味と一致する意味であると解釈されるべきであり、理想化された、又は本明細書で明示的にそのように定義された過度に形式的な意味で解釈されるべきではないことが更に理解されよう。

【0319】

任意の要素が別の要素に「接続され」、「結合され」、「応答する」、又はその変形と言及される場合、それは他の要素に、直接接続され、結合され、又は応答することができ、又は介在要素が存在してもよい。対照的に、任意の要素が別の要素に対して「直接接続され」、「直接結合され」、「直接応答する」、又はそれらの変形であると言及される場合、介在する要素は存在しない。同様の番号は、全体を通して同様の要素を指す。更に、本明細書で使用される「結合される」、「接続される」、「応答する」、又はその変形は、無線で、結合される、接続される、又は応答することを含んでもよい。本明細書で使用される場合、単数形「一つの（「a」、「an」）」及び「その（「the」）」は、文脈が明らかにそうでないことを示さない限り、複数形も含むことを意図する。周知の機能又は構成を、簡潔さ、及び／又は明瞭さのために詳細に説明しない場合がある。「及び／又は」という用語は、関連する列挙された項目のうちの1つ又は複数の任意の組合せ及びすべての組合せを含む。

【0320】

本明細書では、第1、第2、第3などの用語を使用して様々な要素／動作を説明することができるが、これらの要素／動作は、これらの用語によって限定されるべきではないこ

10

20

30

40

50

とが理解されよう。これらの用語は、任意の要素／動作と、別の要素／動作とを区別するためにのみ使用される。したがって、いくつかの実施形態における第1の要素／動作は、本発明の概念の教示から逸脱することなく、他の実施形態における第2の要素／動作と呼ばれ得る。同じ参照番号又は同じ参照符号は、本明細書全体を通して、同じ又は類似の要素を示す。

【0321】

本明細書で使用される場合、「を備える (comprise)」、「を備えている (comprising)」、「を含む (comprises)」、「を含む (include)」、「を含んでいる (including)」、「を含む (includes)」、「を有する (have)」、「を有する (has)」、「を有している (having)」という用語、又はそれらの変形はオープンエンドであり、1つ又は複数の述べた特徴、整数、要素、ステップ、回路又は機能を含むが、1つ又は複数の他の特徴、整数、要素、ステップ、回路、機能又はそれらのグループの存在又は追加を排除するものではない。更に、本明細書で使用される場合、ラテン語「イグゼンプリィグラァーティア」に由来する一般的な略語「例えば (e.g.)」は、前述の項目の一般的な1つ又は複数の例を導入又は指定するために使用されてもよく、そのような項目を限定することを意図するものではない。ラテン語「イデエストゥ」に由来する一般的な略語「すなわち (i.e.)」を使用して、一般的な列挙から特定の項目を指定し得る。

【0322】

例示的な実施形態は、本明細書では、コンピュータ実装方法、装置（システム及び／又はデバイス）並びに／あるいはコンピュータプログラム製品のブロック図及び／又はフローチャート図を参照して説明される。ブロック図及び／又はフローチャート図のブロック、並びにブロック図及び／又はフローチャート図のブロックの組合せは、1つ又は複数のコンピュータ回路によって実施されるコンピュータプログラム命令によって実装され、アナログ回路によって実装され、並びに／あるいはハイブリッドデジタル回路及びアナログ回路によって実装されることが理解される。コンピュータプログラム命令は、機械を製造するために、汎用コンピュータ回路、専用コンピュータ回路、及び／又は他のプログラマブルデータ処理回路の処理回路に提供され、これにより、コンピュータ及び／又は他のプログラマブルデータ処理装置の処理回路を介して実行される命令は、トランジスタ、メモリ位置に格納された値、及びそのような回路内の他のハードウェア構成要素を変換し、及び制御して、ブロック図及び／又はフローチャートの1つ又は複数のブロックで指定された機能／動作を実行し、それによって、ブロック図及び／又はフローチャートのブロックで指定された機能／動作を実行するための手段（機能）及び／又は構造を作成する。

【0323】

これらのコンピュータプログラム命令はまた、コンピュータ、又は他のプログラマブルデータ処理装置に、特定の方法で機能するように指示し得る有形のコンピュータ可読媒体に記憶されてもよく、これにより、コンピュータ可読媒体に記憶された命令は、ブロック図及び／又はフローチャートの1つ又は複数のブロックで指定された機能／動作を実行する命令を含む製品を製造する。したがって、本発明概念の実施形態は、ハードウェアで具現化され、並びに／あるいは「回路」、「モジュール」又はその変形形態と集合的に呼ばれる場合があるデジタル信号プロセッサなどの処理回路上で実行される、ソフトウェア（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコードなどを含む）で具現化され得る。

【0324】

いくつかの代替の実装形態では、ブロックに記載された機能／動作は、フローチャートに記載された順序とは異なる順序で行われてもよいことにも留意されたい。例えば、関連する機能／動作に応じて、連続して示される2つのブロックは、実際には実質的に同時に実行されてもよく、又はブロックは、場合によっては逆の順序で実行されることがあってもよい。更に、フローチャート及び／又はブロック図の所与のブロックの機能は、複数のブロックに分離されてもよく、並びに／あるいはフローチャート及び／又はブロック図の2つ以上のブロックの機能は、少なくとも部分的に統合されてもよい。最後に、本発明概

念の範囲から逸脱することなく、図示したブロック間に他のブロックを追加／挿入し、及び／又はブロック／動作を省略し得る。更に、図のいくつかは、通信の主な方向を示すために通信パス上に矢印を含むが、通信は、描かれた矢印とは反対の方向に発生し得ることを理解されたい。

【0325】

本発明概念の原理から実質的に逸脱することなく、実施形態に対して、多くの変形及び修正を行い得る。そのような変形及び修正はすべて、本発明概念の範囲内の本明細書に含まれることが意図される。したがって、上記で開示した主題は、限定ではなく例示と見なされるべきであり、実施形態の添付の例は、本発明概念の精神及び範囲内に入るすべてのそのような修正、強化、及び他の実施形態を網羅することを意図している。したがって、法律によって許容される最大限の範囲で、本発明概念の範囲は、以下の実施形態の例及びそれらの均等物を含む本開示の最も広い許容可能な解釈によって決定されるべきであり、前述の詳細な説明によって制限又は限定されるべきではない。

10

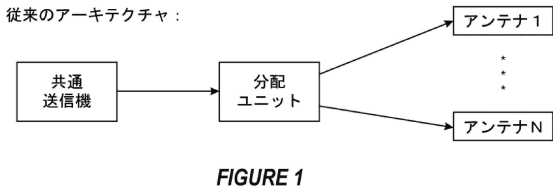
20

30

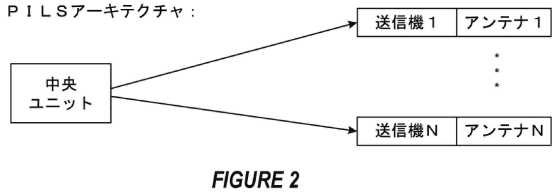
40

50

【図面】
【図 1】

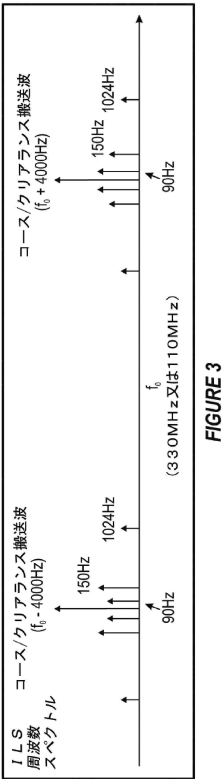


【図 2】

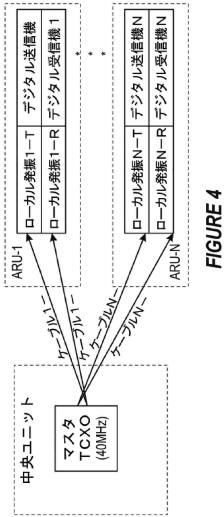


10

【図 3】



【図 4】



20

30

40

50

【図 5】

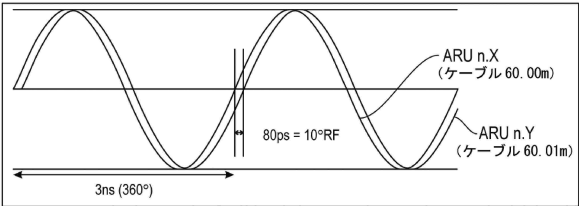


FIGURE 5

【図 6】

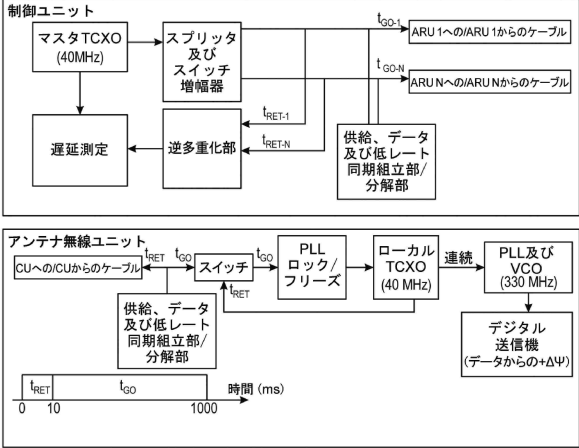


FIGURE 6

【図 7】

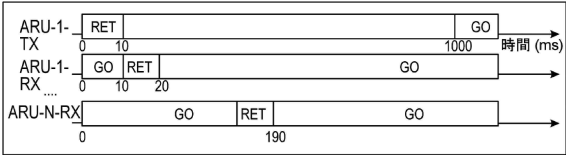


FIGURE 7

【図 8】

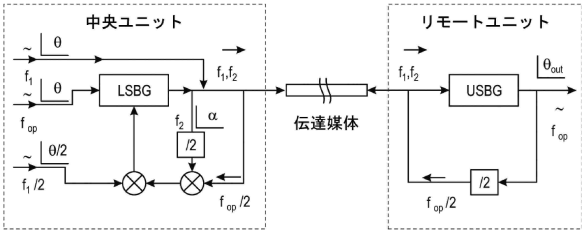


FIGURE 8

10

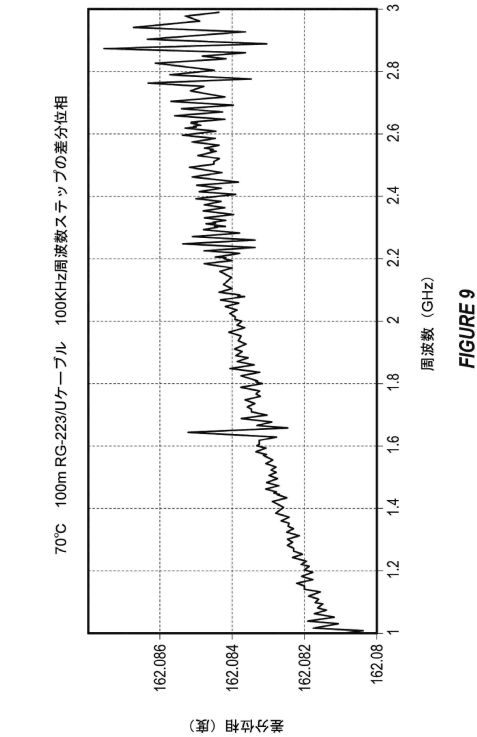
20

30

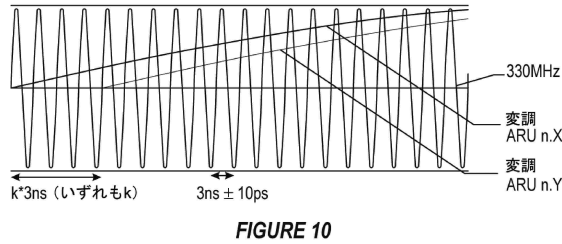
40

50

【図 9】



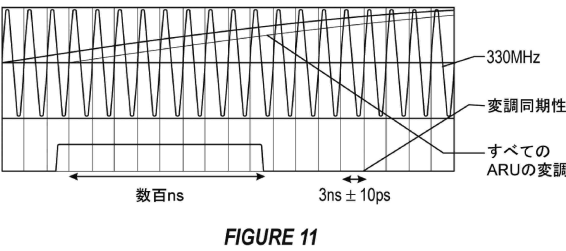
【図 10】



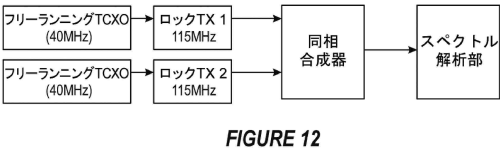
10

20

【図 11】



【図 12】

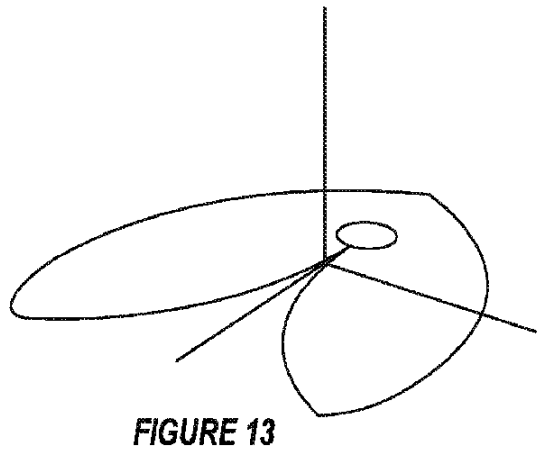


30

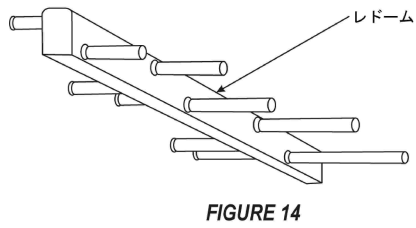
40

50

【図 1 3】

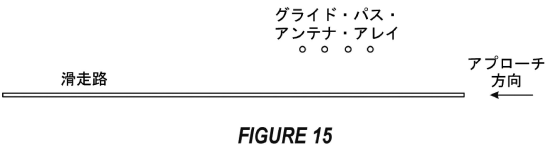


【図 1 4】

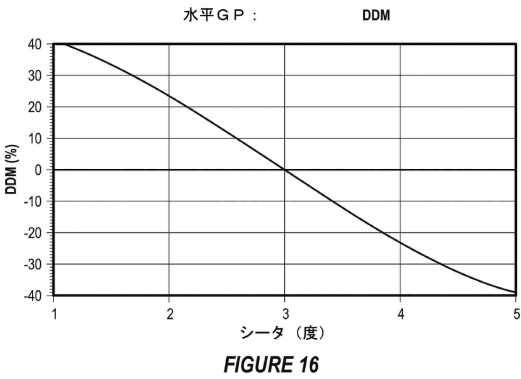


10

【図 1 5】



【図 1 6】



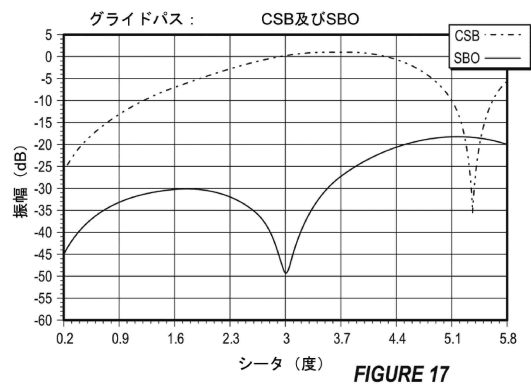
20

30

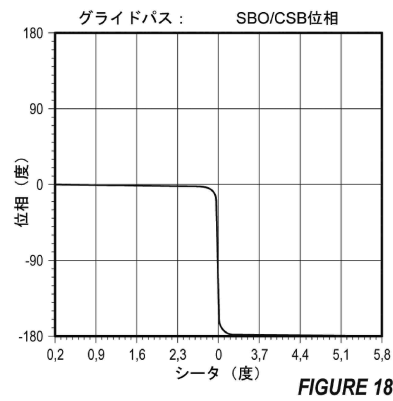
40

50

【図 1 7】

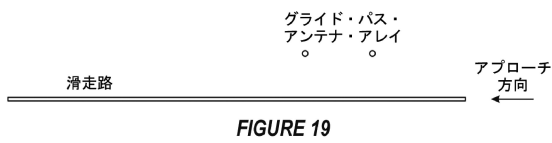


【図 1 8】

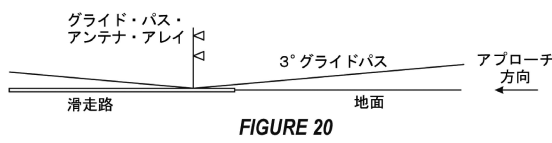


10

【図 1 9】



【図 2 0】



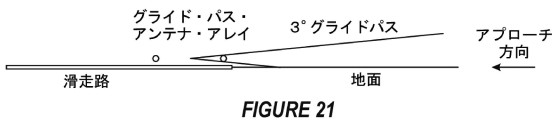
20

30

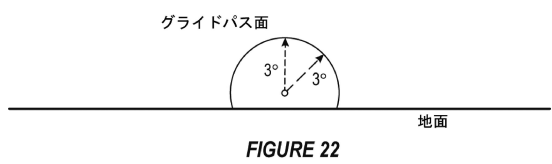
40

50

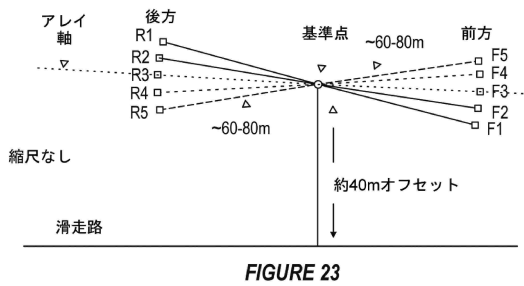
【図 2 1】



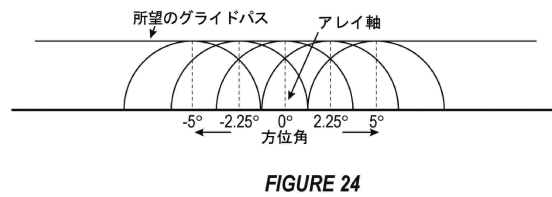
【図 2 2】



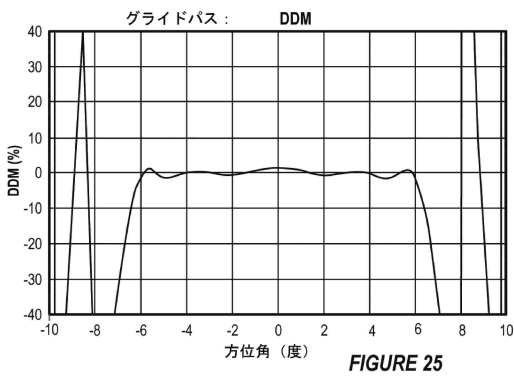
【図 2 3】



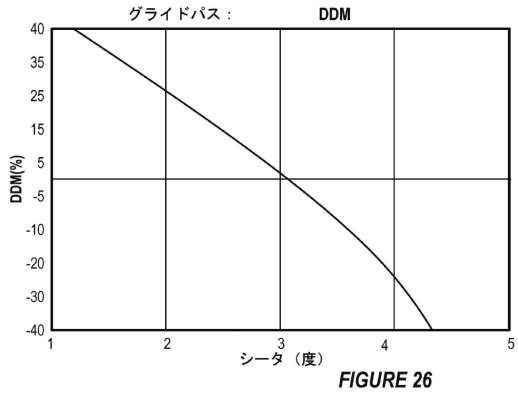
【図 2 4】



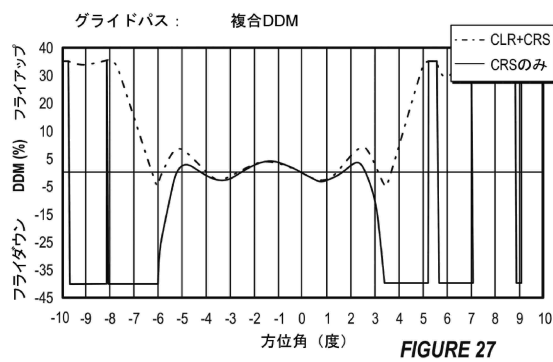
【図 2 5】



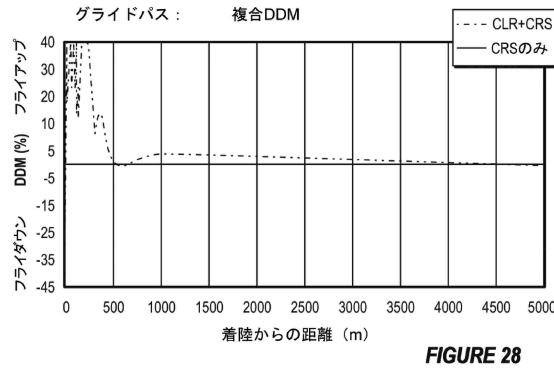
【図 2 6】



【図 2 7】

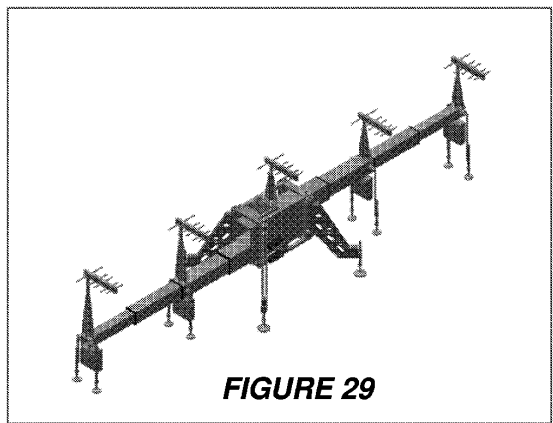


【図 2 8】

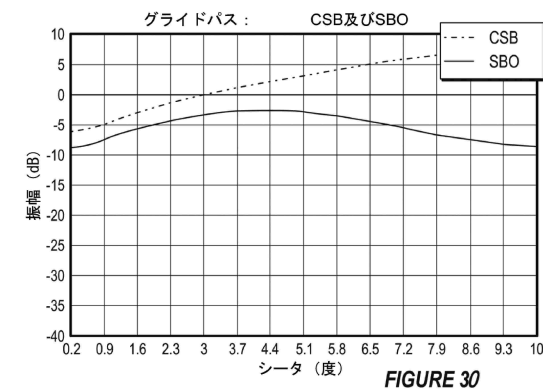


10

【図 2 9】



【図 3 0】



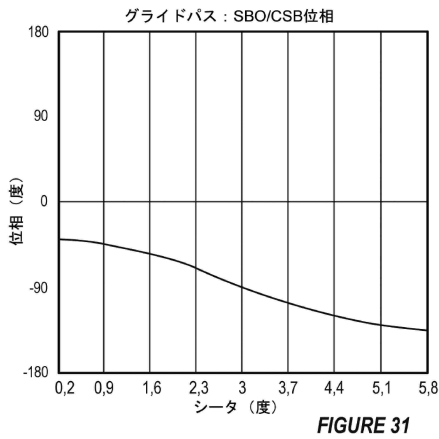
20

30

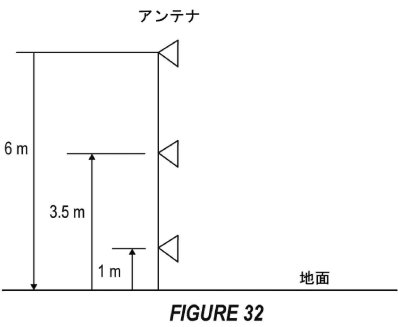
40

50

【図 3 1】

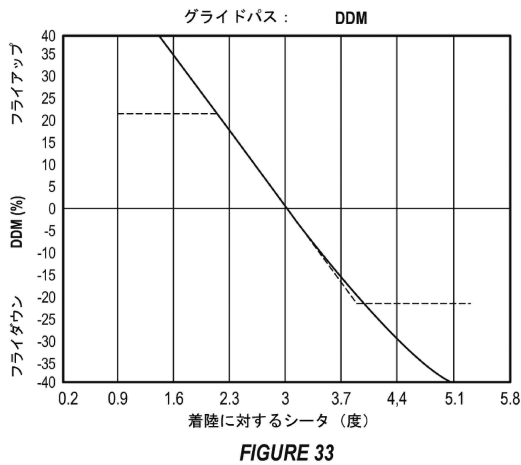


【図 3 2】



10

【図 3 3】



【図 3 4】

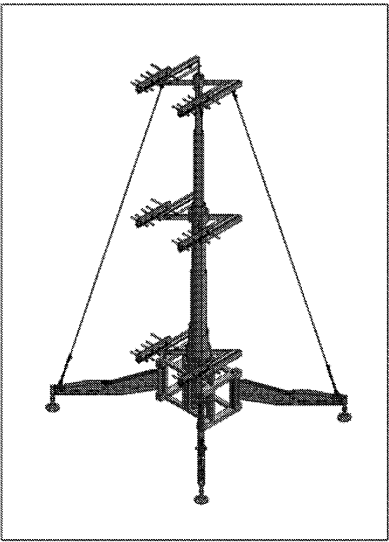


FIGURE 34

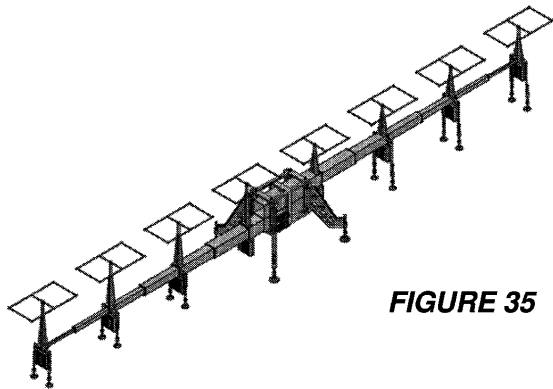
20

30

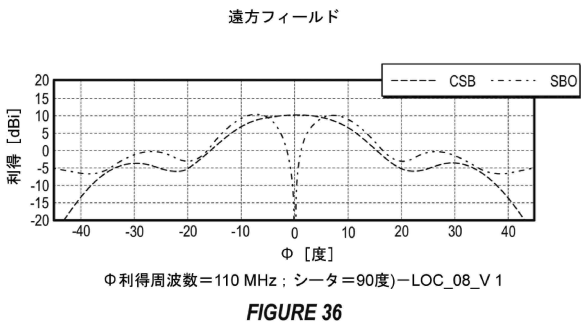
40

50

【図 3 5】

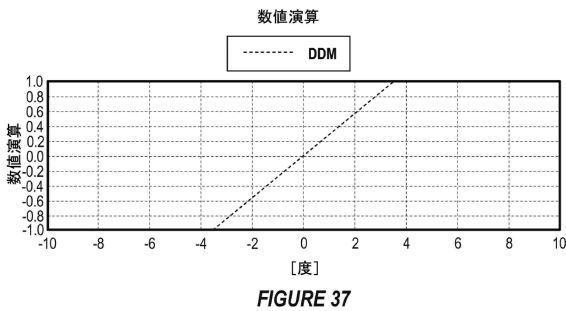


【図 3 6】

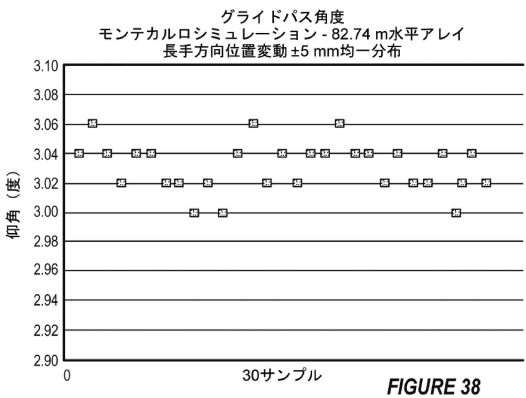


10

【図 3 7】



【図 3 8】



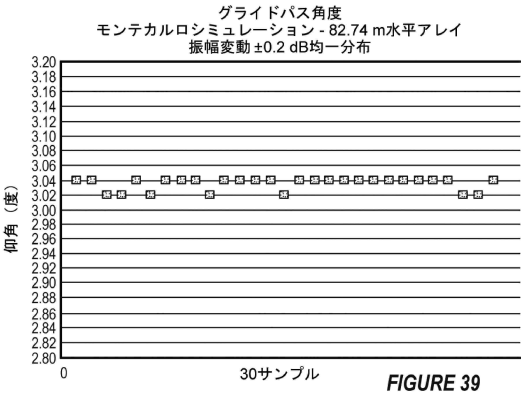
20

30

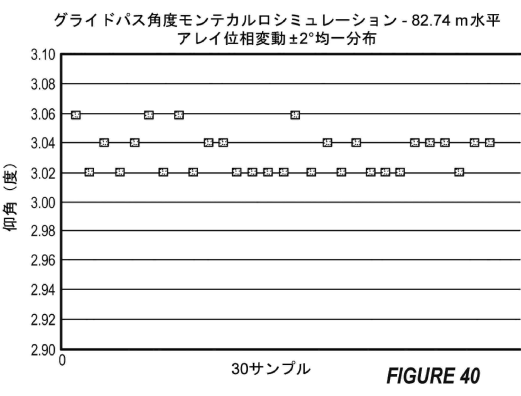
40

50

【図 3 9】

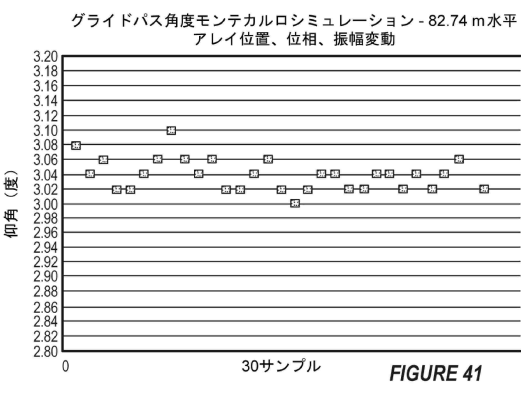


【図 4 0】

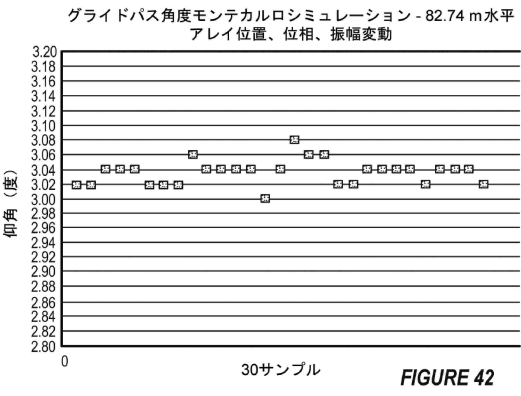


10

【図 4 1】



【図 4 2】



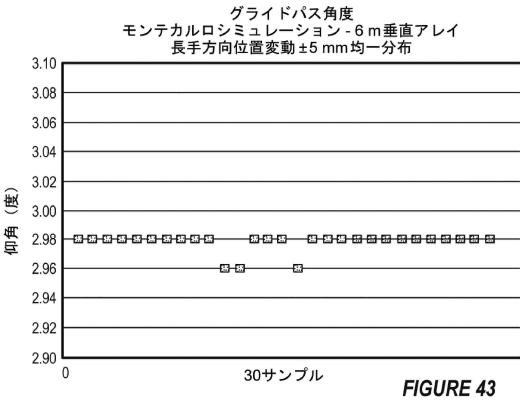
20

30

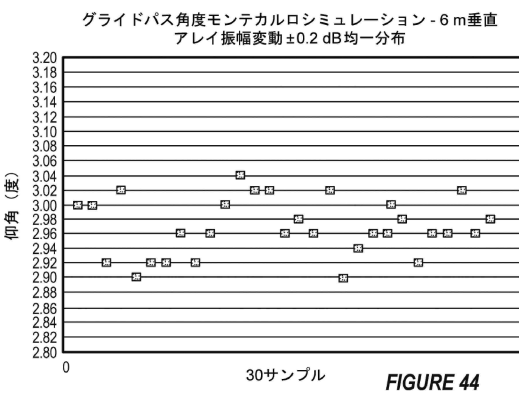
40

50

【図 4 3】

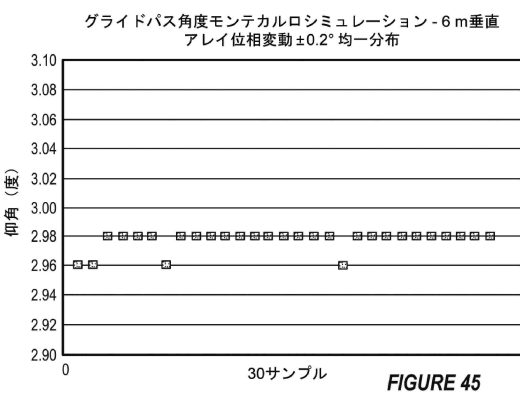


【図 4 4】

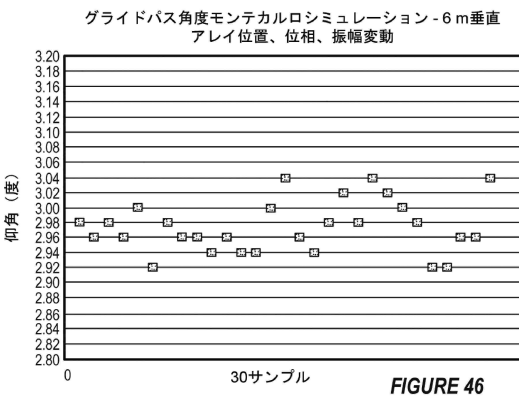


10

【図 4 5】



【図 4 6】



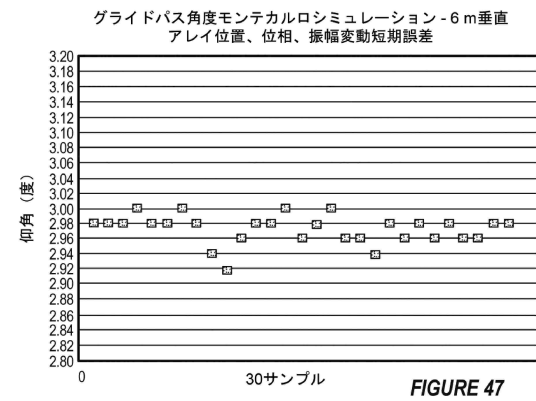
20

30

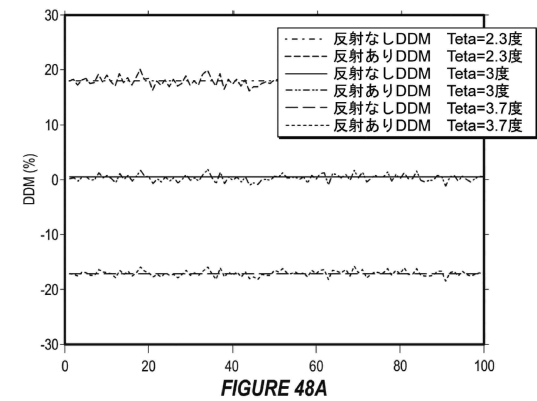
40

50

【図 4 7】

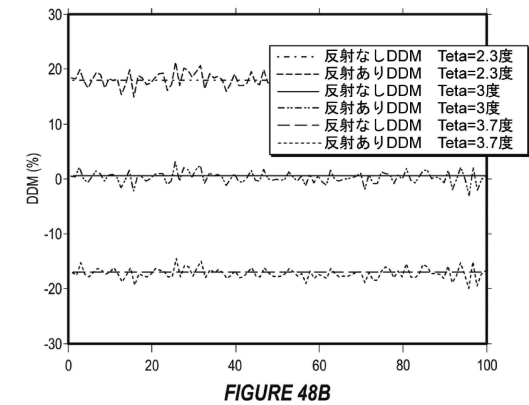


【図 4 8 A】

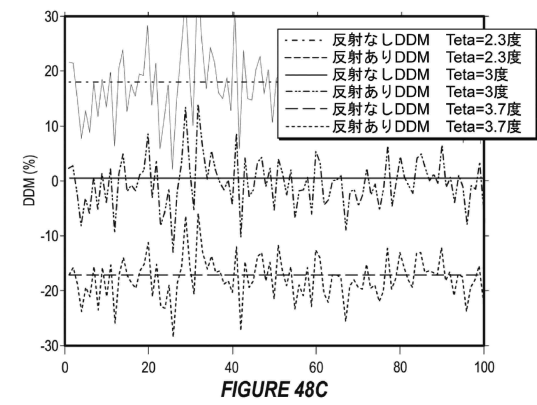


10

【図 4 8 B】



【図 4 8 C】



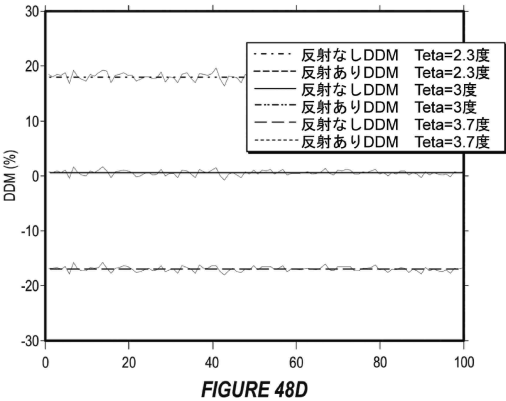
20

30

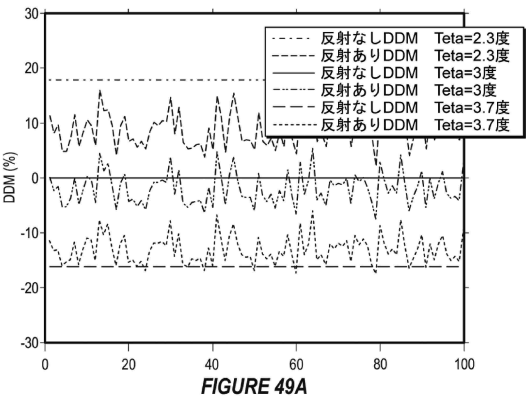
40

50

【図 4 8 D】

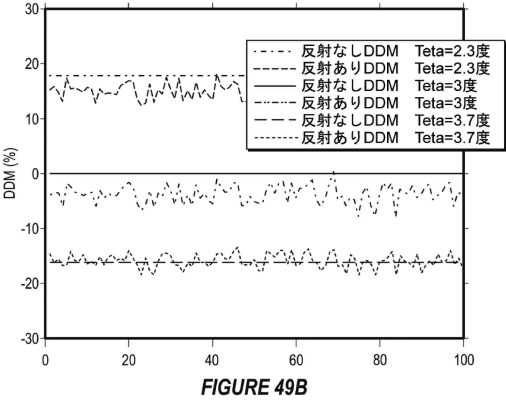


【図 4 9 A】

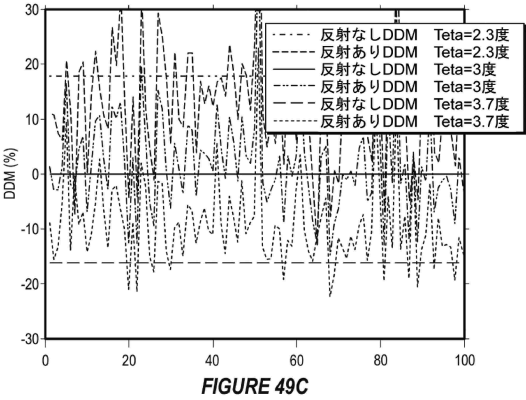


10

【図 4 9 B】



【図 4 9 C】



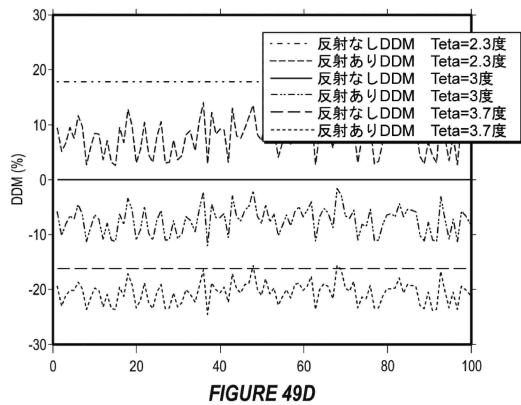
20

30

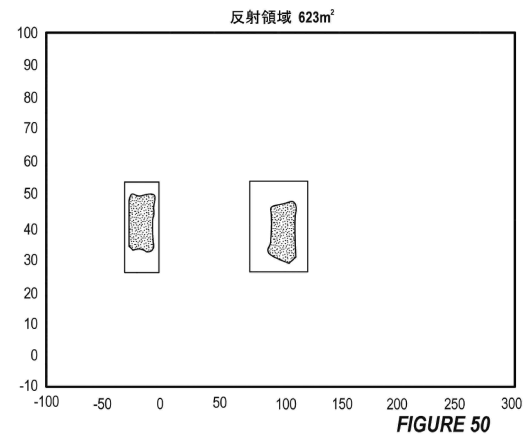
40

50

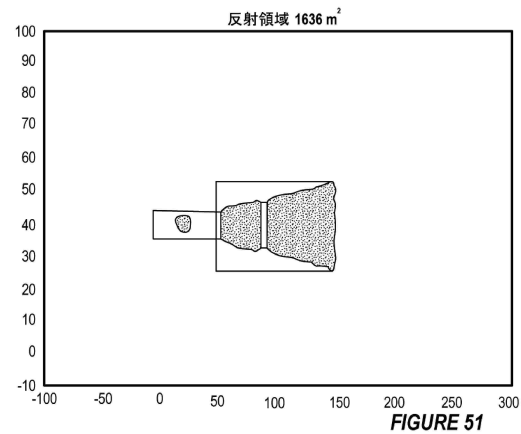
【図 4 9 D】



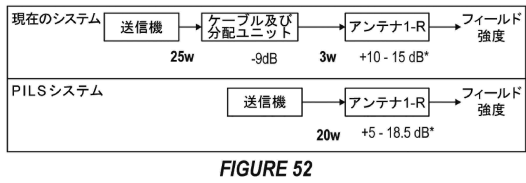
【図 5 0】



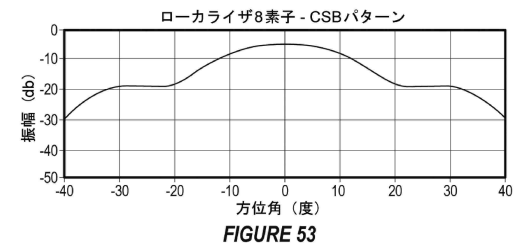
【図 5 1】



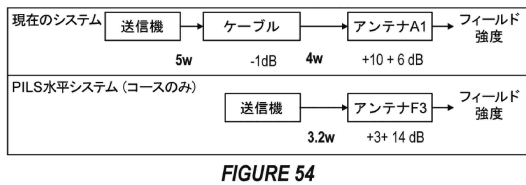
【図 5 2】



【図 5 3】



【図 5 4】



10

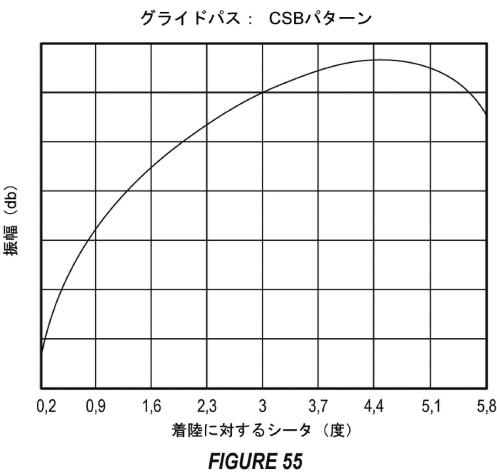
20

30

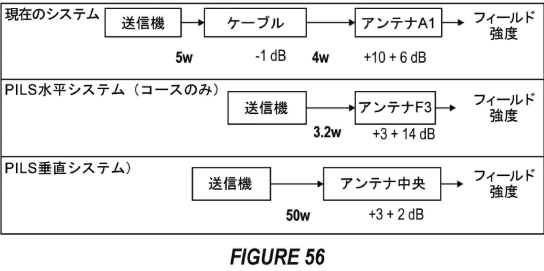
40

50

【図 5 5】

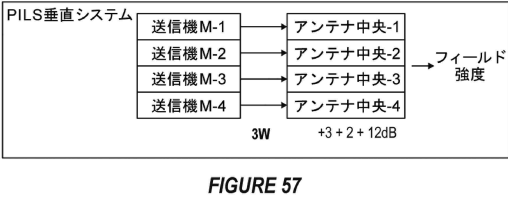


【図 5 6】



10

【図 5 7】



【図 5 8】



20

30

40

50

【図 59】

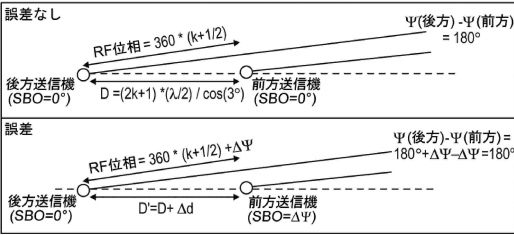


FIGURE 59

【図 60】

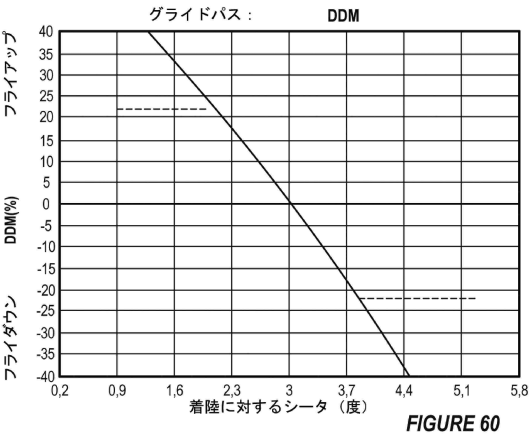


FIGURE 60

10

【図 61】

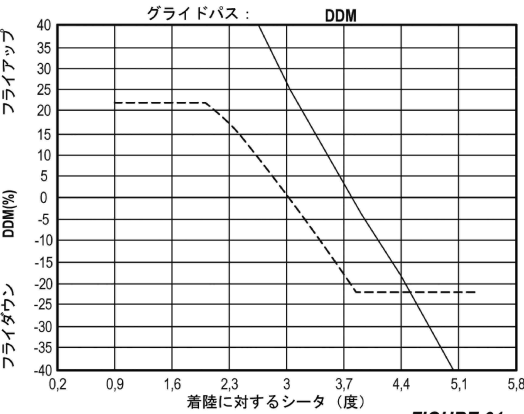


FIGURE 61

【図 62】

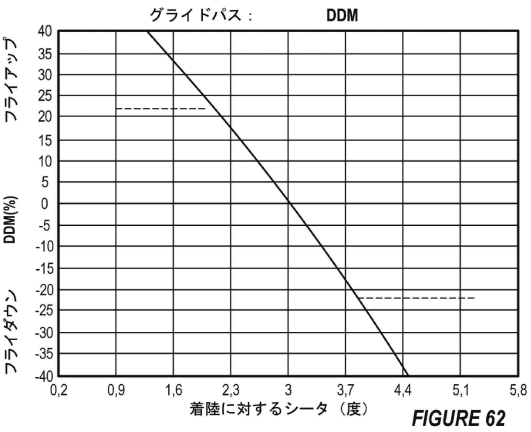


FIGURE 62

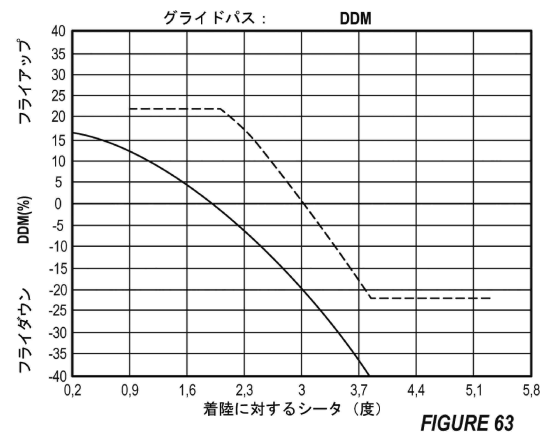
20

30

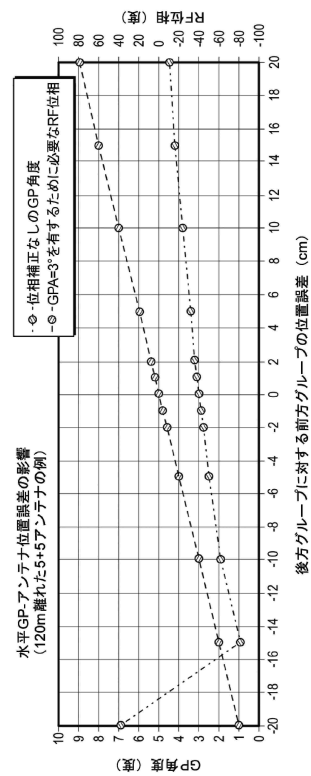
40

50

【図 6 3】



【図 6 4】



フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

4, ヴィア ダンテ

(72)発明者 カースナト, デイヴィッド

フランス国, 19311 ブリーヴァーラーガイヤルド, ルー ルーテナントーコロネル ラポルテ 6

(72)発明者 ククラチ, アンドレア

イタリア国, 20064 ゴルゴンゾーラ, 67, ヴィア マッテイ

(72)発明者 ドゥロップル, ネイサン

フランス国, 49309 ショレ, アベニュー ドゥ マレシャル ルクラーク 110

(72)発明者 ルナルディ, パオロ

イタリア国, 20814 ヴアレド, 36, ヴィア ウンベルト アイ

(72)発明者 シャトベルツ, アンドレ

ドイツ国, 75378 バート リーベンツェル, ベルクシュトラッセ 98

(72)発明者 ローソン, ステファン

アメリカ合衆国, 64152 ミズーリ, パークヴィル, ブラフス ウェイ 5312

(72)発明者 トリアーノ, フランチェスコ

イタリア国, 28100 ノヴァーラ, ヴィア ヴィヴァルディ 46

(72)発明者 テオバルド, ミカエル

ドイツ国, 66265 ホイスヴァイラー, フォルシュタットシュトラッセ 85

(72)発明者 マクガヒー, ケヴィン

アメリカ合衆国, 66218 カンザス, ショーニー, ミルブルック ストリート 6833

審査官 山下 雅人

(56)参考文献 特開2007-102775 (JP, A)

特開平03-035183 (JP, A)

特開平08-320375 (JP, A)

特開昭61-226672 (JP, A)

米国特許出願公開第2011/0130898 (US, A1)

米国特許出願公開第2017/0084987 (US, A1)

独国特許出願公開第04220101 (DE, A1)

米国特許第05475393 (US, A)

特開2003-044997 (JP, A)

特開平07-333312 (JP, A)

特開平04-009781 (JP, A)

特開昭49-052994 (JP, A)

米国特許出願公開第2017/149148 (US, A1)

米国特許出願公開第2011/299430 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01S 1/00- 1/68

G01S 7/00- 7/42

G01S13/00-13/95

G08G 5/00- 5/06

B64D45/04

H01Q 3/00-25/00