

ST マイクロエレクトロニクス の Time-of-Flight センサにおける FoV(視野角)の定義について

はじめに

本書では、ST マイクロエレクトロニクス の Time-of-Flight (ToF) センサ製品における FoV(視野角)の定義について説明します。

ST マイクロエレクトロニクス の ToF センサにおいて、システム FoV とは物体を検出できる領域として定義しており、以下の制約により一般的な定義は適用できません。

- ToF センサは発光部 (VCSEL) 及び受光部 (SPAD) の 2 つの FoV で構成されているため、それぞれの FoV に独自の特性がある
- SPAD アレイで受信する信号量は、対象物までの距離、周辺光の状況、測距時間などの使用条件によって異なる
- 利用者の立場から見ると、ToF センサは信号量ではなく、距離を測定するために使用する

以上のことから、ST マイクロエレクトロニクス では FoV についていくつかの定義を提供してきました。各定義は、本書で説明されている特定の使用例に適用されます。

図 1. ST マイクロエレクトロニクス の ToF センサ・モジュール



1 略記と略語

表 1. 略記と略語

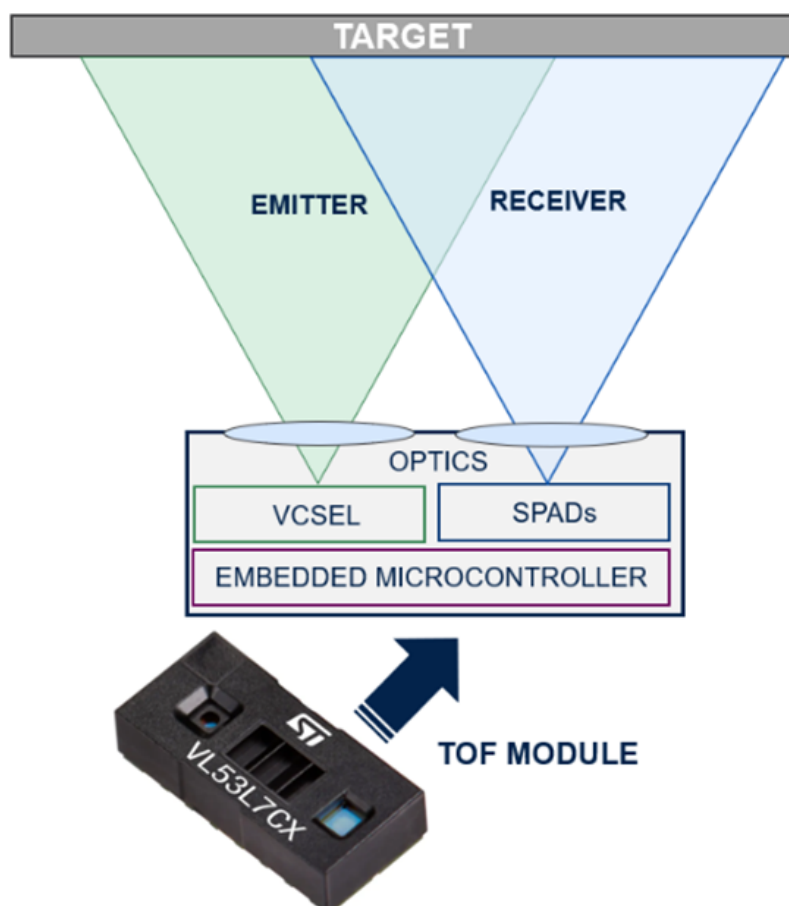
略記/略語	定義
FoI	照射角 (Field of Illumination)
FoV	視野角 (Field of View)
FWHM	半値全幅 (full width at half maximum)
SPAD	単一光子アバランシェ・ダイオード (single photon avalanche diode)
ToF	Time-of-Flight
VCSEL	垂直共振器型面発光レーザー (vertical cavity surface emitting laser)

2 円形および正方形の視野角

2.1 ST マイクロエレクトロニクス Time-of-Flight センサ

ST マイクロエレクトロニクスの ToF センサは、VCSEL、光学素子、内蔵マイクロコントローラ、SPAD アレイを搭載したオールインワン型のモジュールとなっており、少ない消費電力で高速に距離を測定することができます。

図 2. ToF モジュールの概要



ST マイクロエレクトロニクスでは、次の 2 種類の ToF センサを開発、製造しています。

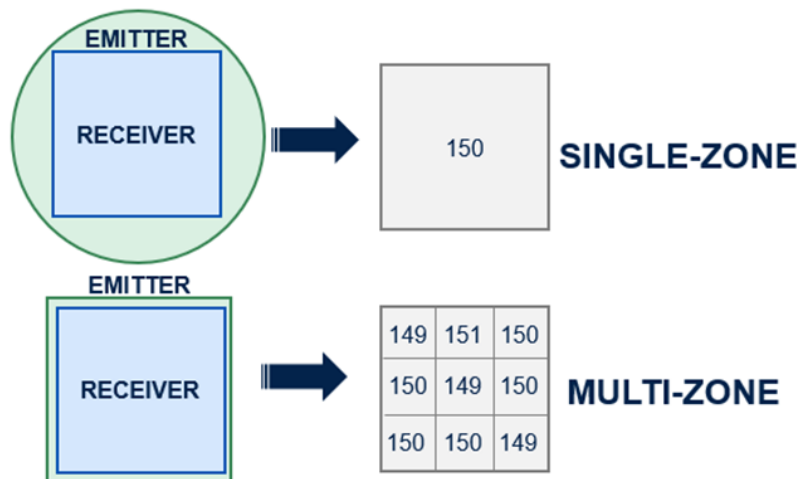
- シングルゾーン ToF センサ: FoV 内の単一の距離を測定します。一部のセンサでは、FoV 内の複数の対象物を測定することもできます。距離を検出しますが、検出された対象物の座標を取得することはできません。シングルゾーン・センサの例としては、VL53L1CB や VL53L4CD があります。
- マルチゾーン ToF センサ: 深度マッピングに使用できるセンサで、SPAD アレイが複数のゾーンに分割されています。ゾーンごとに距離を測定することができるため、簡易的な深度マップを取得できます。マルチゾーン・センサの例としては、VL53L5CX や VL53L7CX があります。

2.2 FoV について

ToF センサは構造によって円形の FoV を持つものと、正方形の FoV を持つものがあります。これは、モジュールに搭載されている光学素子の違いによるものです。標準の光学素子では円形の FoV が得られ、回折光学素子では正方形の FoV が得られます。

弊社の大部分のシングルゾーン・センサには標準の光学素子が搭載され、多くのマルチゾーン・センサには回折光学素子が搭載されています。図 3. シングルゾーン・センサとマルチゾーン・センサの測定例を見てください。ここでは、対象物が 150 mm の距離にあります。

図 3. シングルゾーン・センサとマルチゾーン・センサの測定例



結果として、ST マイクロエレクトロニクスが示す FoV の角度は、シングルゾーン製品とマルチゾーン製品で異なる場合があります。マルチゾーン製品の場合、ST マイクロエレクトロニクスでは受光部の対角と FoV の各辺の角度を示し、シングルゾーン製品では受光部の頂角を示しています。

例: VL53L4CD の場合、FoV は頂角 18°と定義されています。VL53L5CX の場合、FoV は対角 65°と辺 45°x45°で定義されています。

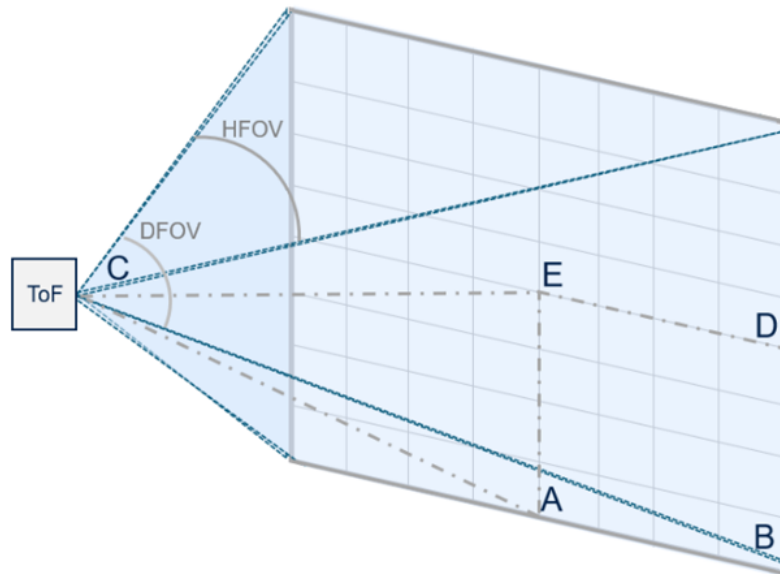
注 三平方の定理を使用して側辺から対角線への変換を行うことはできません(セクション 2.3: マルチゾーン・センサの対角 FoV の計算を参照)。

2.3 マルチゾーン・センサの対角 FoV の計算

対角 FoV の計算の一般的な誤りは、与えられた X と Y の角度から三平方の定理を使用して算出することです。この定理は、距離には適用できますが、角度には適用できません。

ST マイクロエレクトロニクスが使用している計算式を以下に示します。計算式で使用する各距離は図 4. 対角 FoV の計算に使用するポイントに示します。

図 4. 対角 FoV の計算に使用するポイント



計算の前提条件:

- SPAD アレイが正方形であること
- センサが対象物に対して垂直に設置されており、各ゾーンが正方形となっていること
- 距離 [AC] が 1 に等しいこと。ただしこの値は任意であり、最終的に結果に影響しない構造上、以下も前提となります。

$$[AB] = [EA] = [AC] \times \tan\left(\frac{HFOV}{2}\right) \quad \text{式1}$$

$$[EB] = \sqrt{[EA]^2 + [AB]^2} \quad \text{式2}$$

$$[BC] = \sqrt{[AB]^2 + [AC]^2} \quad \text{式3}$$

[AC] = 1 と考えた場合、次のようになります。

$$[EB] = \sqrt{2 \times \left[\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)\right]^2} \quad \text{式2+式1}$$

$$[BC] = \sqrt{\left[\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)\right]^2 + 1} \quad \text{式3+式1}$$

対角 FoV は次のように算出できます。

$$[DFoV] = 2 \times \left(\frac{[EB]}{[BC]}\right) = 2 \times \text{asin}\left(\frac{\sqrt{2 \times \left[\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)\right]^2}}{\sqrt{\left[\tan\left(\frac{HFOV}{2}\right)\right]^2 + 1}}\right) \quad \text{式4}$$

VL53L7CX の場合

検出範囲は 60°x60°です。三平方の定理を適用すると立体角は 84.5°となりますが、上記の計算により得られる立体角は 90°となります。

3 FoV の定義

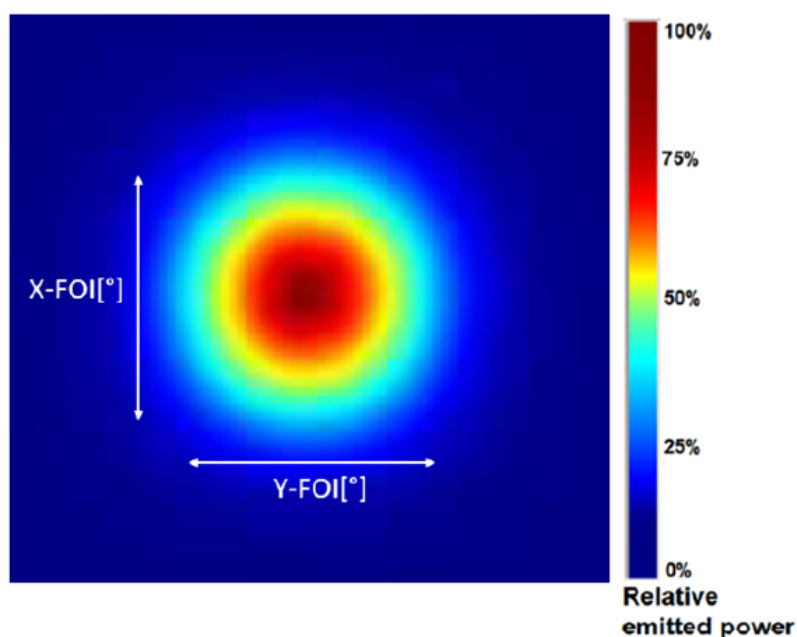
3.1 システム FoV

システム FoV は公称の性能を実現するための領域で、Fol と呼ばれる発光領域と、公称 FoV と呼ばれる受光領域で構成されています。つまり、システム FoV が分かれば、ToF センサの発光領域と検出領域が分かります。

3.1.1 Fol

Fol は、VCSEL から放射される強度プロファイルを示すために使用されます。ST マイクロエレクトロニクスでは、照射プロファイル(図 5. VL53L4CD の Fol の例を参照)と特定の強度値に対応する角度を提供しています。

図 5. VL53L4CD の Fol の例

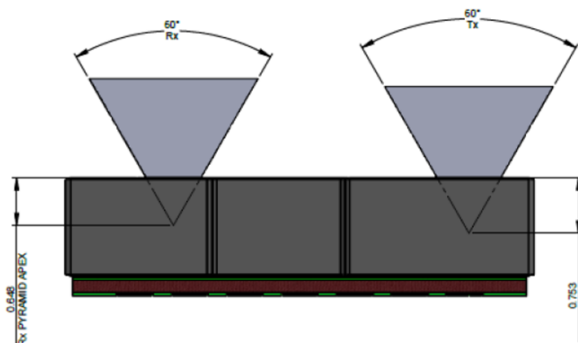


- シングルゾーン・センサの場合、強度 $1/e^2$ または FWHM に対して Fol が与えられます
- マルチゾーン・センサの場合、最大値から 75% および 10% の 2 種類の強度の相対信号に対して Fol が与えられます

3.1.2 公称 FoV

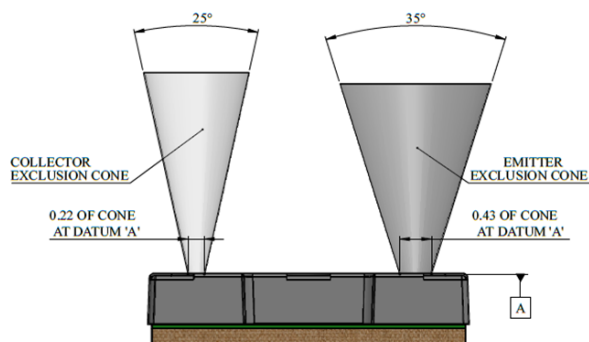
公称 FoV とは、公称の性能を実現することが出来る領域を示しており、ST マイクロエレクトロニクスの標準の反射率はこの領域内で検出されています。角度は X 方向と Y 方向で示されます。

公称 FoV はランバート反射をする対象物にのみ適用されます。鏡面性を持つ対象物については、セクション 3.3: Keep-out cone (禁止領域) を参照してください。

図 6. VL53L7CX の公称 FoV の例


3.2 Exclusion cone (排他的領域)

排他的領域とは、筐体設計時に参照すべき領域で、システム FoV の範囲に基づいています。この領域は、発光部及び受光部にそれぞれあり、クロストークの影響を回避するためにこの領域内には何も無いようにする必要があります。この領域は各製品のデータシートに図示されており、カバー・ガラスと筐体の開口部のサイズについてそれぞれ注意する必要があります。カバー・ガラス及び開口部サイズを計算出来るツールについては st.com から入手できます。

図 7. VL53L3CX Exclusion cone の例


3.3 Keep-out cone (禁止領域)

禁止領域とは、設計時に考慮すべき領域のことで、放射照度の検出領域に基づいています。この領域は、対象が鏡や高反射面の場合でもこの領域の外側に光（発光または受光）がないことを保証しているため、条件に関係なく検出限度を定義することができます。従って、禁止領域はシステム FoV に比べて範囲が非常に広くなります。

この領域は ST マイクロエレクトロニクスが提供しているデータシートには記載されていませんが、st.com サポートに連絡して頂ければ入手できます。

注 シングルゾーン・センサの大部分では、禁止領域と排他的領域は同義です。

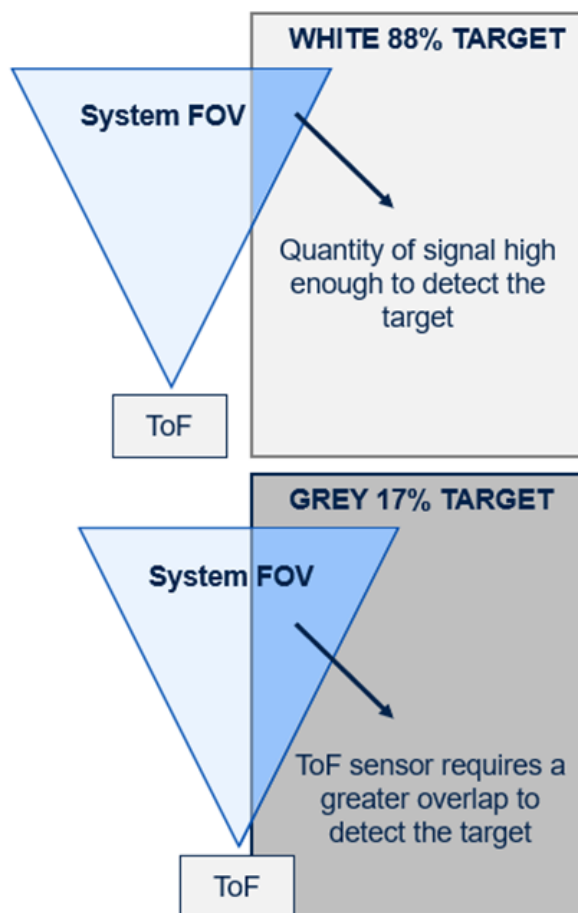
3.4 検出範囲

利用者にとって有効な距離測定ができる検出範囲を知ることはとても重要です。検出範囲の外側にある対象物もセンサで検出できますが、信号強度が弱すぎて有効な距離を測定することは難しいです。

検出範囲は有効な距離を測定出来るかに基づいており、これは周辺の環境に強く影響を受けます。距離を取得するには、SN 比(信号対ノイズ)が十分に高い必要があります。

たとえば、同じ距離に FoV を 100%カバーする対象物をおいた場合、検出範囲はグレー 17%の対象物は白 88%の対象物よりも小さくなります。これは、対象物から反射してセンサに戻ってくる信号量の違いによるものです。

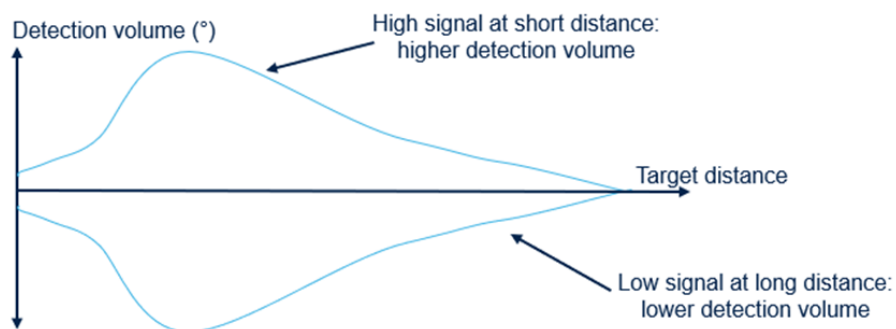
図 8. 検出範囲における反射率の影響



検出範囲に影響するのは、反射率だけではなく、SN 比に影響を及ぼすすべての要因により、検出範囲が変化する可能性があります。以下に主要な要因を示します。

- 対象物の反射率: 反射率が高いと、検出範囲は広くなります。これは、対象物とシステム FoV の重なりが小さくても、対象物が検出されるためです
- 周囲光レベル: 周囲光が大きいと、検出範囲は狭くなります。周囲光がノイズとなってセンサに作用するためです
- インテグレーション・タイム/タイミング・バジェット: センサが光を集積する時間を設定出来ます。値が大きいくほど、検出範囲が広がります
- 対象物の距離: 検出範囲は受信する信号の量に伴って拡大します

検出範囲は対象物の距離によって決まるため、検出範囲のプロファイルは線形ではなく、ランプのスペードのような形になります(図 8. 検出範囲における反射率の影響を参照)。

図 9. 検出範囲に対する距離の影響


ST マイクロエレクトロニクスは、検出範囲は 1 つまたは 2 つの異なる距離に対して提供しています。検出範囲は、モジュールの X 方向と Y 方向に対して測定しています。例を [表 2. VL53L4CX の検出範囲の例](#) に示します。

表 2. VL53L4CX の検出範囲の例

項目	対象物までの距離: 100mm (白 88%)	対象物までの距離: 1000mm (白 88%)
検出範囲(°)	22°	18°

注 システム FoV については、検出範囲はシングルゾーン・センサーの場合は頂角で定義され(例: VL53L4CX = 22°)、マルチゾーン製品の場合は辺で指定されます(例: VL53L7CX = 60°x60°)。詳細については、[セクション 2.2: FoV について](#)を参照してください。

3.5 要約

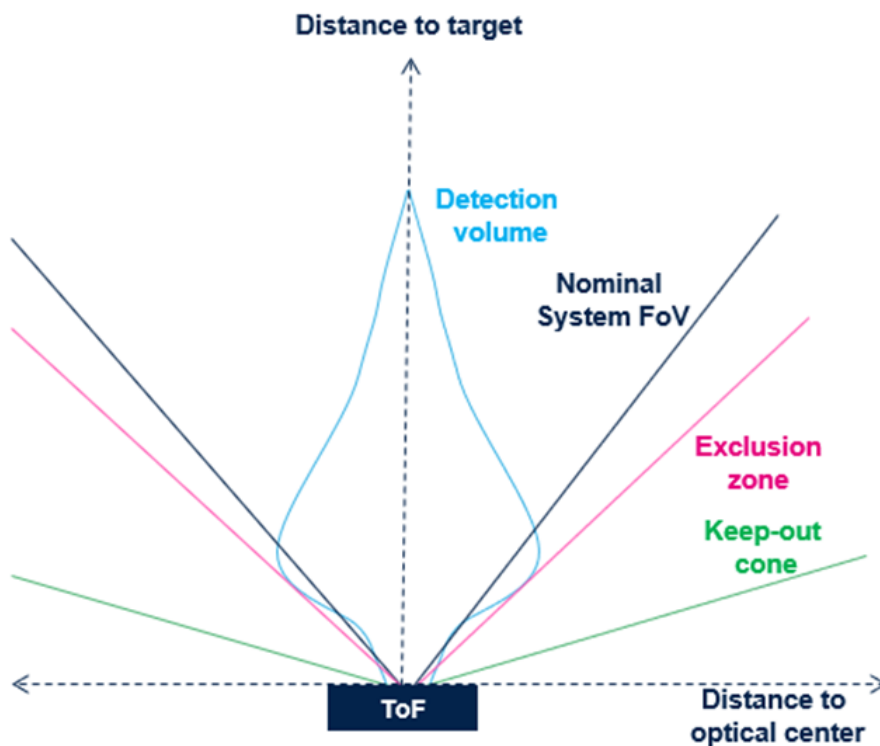
表 3. FoV の概要 に、このアプリケーション・ノートにおける FoV の各定義の概要を示します。

表 3. FoV の概要

定義		名称	使用方法
システム FoV	FoI(発光)	センサから発信される一般的な信号領域	信号が発信され、かつ検出できる領域
	公称 FoV(受光)	ランバート反射を使用したセンサで検出できる一般的な領域	
Detection volume(検出領域)		有効な距離測定ができる領域	センサの検出領域(評価用に推奨)
Exclusion cone(排他的領域)		システム FoV の公差を考慮した領域	ランバート反射する材質を使用した筐体設計向け(一般的な筐体設計に推奨)
Keep-out cone(禁止領域)		非常に高い照射に基づいた領域	高反射面を使用した筐体設計向け

図 10. ST マイクロエレクトロニクスの ToF の各定義の概略図 に、各 FoV を簡単に図示します。

図 10. ST マイクロエレクトロニクスの ToF の各定義の概略図



4 推奨事項

製品の性能を比較するには、有効な距離測定に基づいた検出範囲を利用することを推奨します。

また、設計時には Exclusive cone (排他的領域)を参照することを推奨します。この情報は各製品のデータシートに記載されていますが、st.com で提供している専用の計算ツールでも確認することができます。使用する材料の表面が高反射のものである場合は Keep-out cone (禁止領域)を使用することが有効です。ただし、禁止領域は大きな開口サイズが必要となるため、通常は推奨していません。

このアプリケーション・ノートに記載しているその他のすべての FoV の説明は、情報提供のみを目的としています。

改版履歴

表 4. 文書改版履歴

日付	版	変更内容
2023 年 1 月 18 日	1	初版発行

目次

1	略記と略語	2
2	円形および正方形の視野角	3
2.1	ST マイクロエレクトロニクス Time-of-Flight センサ	3
2.2	FoV について	4
2.3	マルチゾーン・センサの対角 FoV の計算	5
3	FoV の定義	6
3.1	システム FoV	6
3.1.1	FoI	6
3.1.2	公称 FoV	6
3.2	Exclusion cone (排他的領域)	7
3.3	Keep-out cone (禁止領域)	7
3.4	検出範囲	8
3.5	要約	10
4	推奨事項	11
	改版履歴	12

重要なお知らせ(よくお読み下さい)

STMicroelectronics NV およびその子会社(以下、ST)は、ST 製品および本書の内容をいつでも予告なく変更、修正、改善、改定および改良する権利を留保します。購入される方は、発注前に ST 製品に関する最新の関連情報を必ず入手してください。ST 製品は、注文請書発行時点で有効な ST の販売条件に従って販売されます。

ST 製品の選択並びに使用については購入される方が全ての責任を負うものとします。購入される方の製品上の操作や設計に関して ST は一切の責任を負いません。

明示又は黙示を問わず、ST は本書においていかなる知的財産権の実施権も許諾致しません。

本書で説明されている情報とは異なる条件で ST 製品が再販された場合、その製品について ST が与えたいかなる保証も無効となります。

ST および ST ロゴは STMicroelectronics の商標です。ST の登録商標については ST ウェブサイトをご覧ください。www.st.com/trademarks

その他の製品またはサービスの名称は、それぞれの所有者に帰属します。

本書の情報は本書の以前のバージョンで提供された全ての情報に優先し、これに代わるものです。

この資料は、STMicroelectronics NV 並びにその子会社(以下 ST)が英文で記述した資料(以下、「正規英語版資料」)を、皆様のご理解の一助として頂くために ST マイクロエレクトロニクス株式が英文から和文へ翻訳して作成したものです。この資料は現行の正規英語版資料の近時の更新に対応していない場合があります。この資料は、あくまでも正規英語版資料をご理解頂くための補助的参考資料のみにご利用下さい。この資料で説明される製品のご検討及びご採用にあたりましては、必ず最新の正規英語版資料を事前にご確認下さい。ST 及び ST マイクロエレクトロニクス株式は、現行の正規英語版資料の更新により製品に関する最新の情報を提供しているにもかかわらず、当該英語版資料に対応した更新がなされていないこの資料の情報に基づいて発生した問題や障害などにつきましては如何なる責任も負いません。

© 2023 STMicroelectronics – All rights reserved