

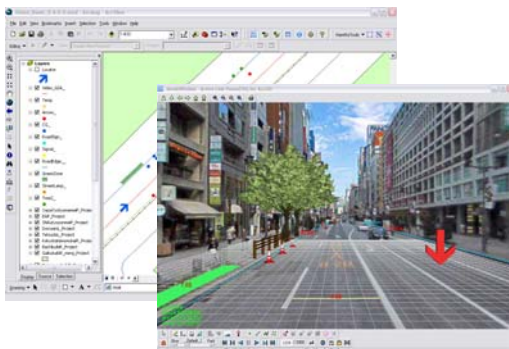
White Paper : CV 技術とその応用

(株)岩根研究所

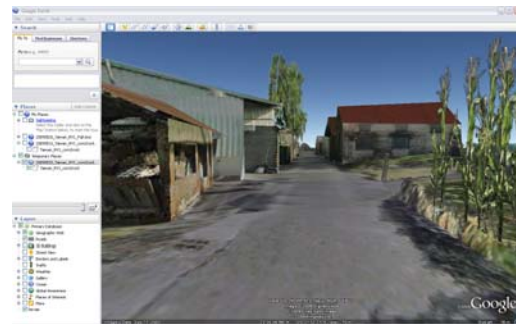
CV 技術とは、我々岩根研究所が視覚による人工知能実現を目指し 30 年に渡り独自に研究・開発を続けてきた、三次元空間解析技術です。6 個の CCD レンズから取得された画像を合成して作成された全周映像の各フレーム、各ピクセルに対応する三次元座標を自動的に取得し、利用者は全周映像を三次元空間として、まるで現実のコピーのように、利用できます。これにより、3D GIS (“Active Link Vision”)、3 次元地図作成、3D モデル (“3DPCCI”) の作成、次世代カーナビゲーション等様々な応用が可能となります。

これらの実現には、取得された映像とカメラの位置及び姿勢の関係を高精度に規定する必要があり、弊社では各種センサー類を用いず映像のみをソースとして、人間の目が風景における自らの位置や姿勢・ビルまでの距離を認識できるように、両者の関係を解析することを可能としました。その技術を “Camera Vector Technology (CV 技術)” とし、解析されたカメラの位置・姿勢情報を CV 値と呼んでいます。GPS 等のセンサー類は CV 値の解析後、絶対座標へのキャリブレーション等の補正目的でのみ利用されます。

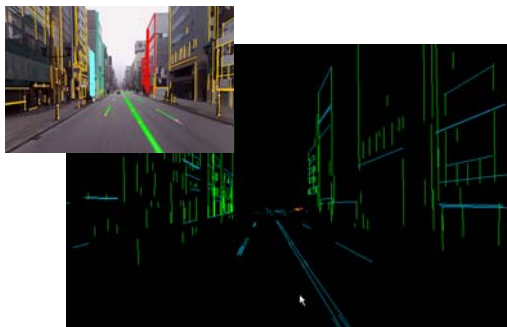
以下にその CV 技術の原理・精度、その応用について概説します。



3D Video GIS “ALV for ArcGIS®”



3D CG Modeling “3D PCCI”



3 次元地図作成

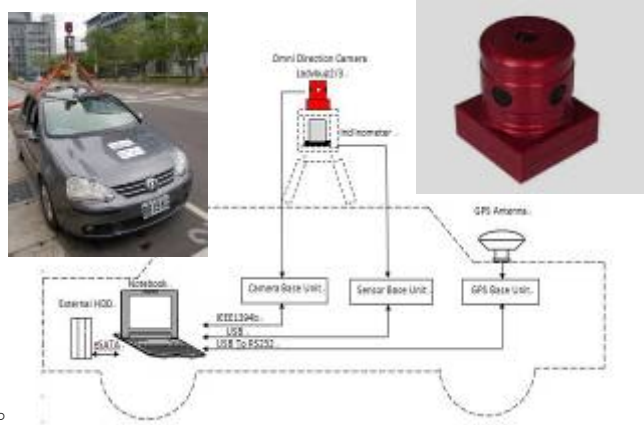


次世代カーナビゲーション

CV技術とは

撮影 (Iwane Mobile Mapping System)

全周動画映像は基本的に弊社で開発した専用の撮影車両によって行います (IMMS: Iwane Mobile Mapping System)。IMMS は全周カメラ及び GPS, 傾斜計等の補助センサー、ノート PC 等により構成されます。ただし、CV 技術は本質的にはハードウェアには依存しないため、その他のカメラによる映像、センサー類の内映像からでも作成は可能です。



CV 値の取得

CV 値とは正確には全周動画映像全フレームの位置・姿勢を数値化したものです。映像を解析し、CV 値を求めるためには、まず動画映像の中から多数の特徴点 (200 点以上) を抽出し、その特徴点の動きを動画フレームを超えて追跡します。



特徴点の三次元位置を

$$P^m = \begin{pmatrix} P_1^m \\ P_2^m \\ P_3^m \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3, m = 1, 2, \dots$$

映像の各フレームにおける CV 値を

$$T^n = \begin{pmatrix} T_1^n \\ T_2^n \\ T_3^n \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3, R^n = \begin{pmatrix} R_{11}^n & R_{12}^n & R_{13}^n \\ R_{21}^n & R_{22}^n & R_{23}^n \\ R_{31}^n & R_{32}^n & R_{33}^n \end{pmatrix} \in SO_3, n = 1, 2, \dots$$

とします。これらは全て未知数です。一方 m 番目の特徴点の n フレーム目の位置を

$$p^{mn} = \begin{pmatrix} p_1^{mn} \\ p_2^{mn} \\ p_3^{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi^{mn} \sin \theta^{mn} \\ \sin \phi^{mn} \\ -\cos \phi^{mn} \cos \theta^{mn} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^3$$

とします。 P^m と $T^n; R^n$ から計算される画像上の投影点が p^{mn} に重なるという条件から、方程式をたてると、

$${}^tR^n(P^m - T^n) \simeq p^{mn}$$

となります。この方程式を誤差が最小になるように統計的に処理することにより、CV 値を求めることができます。

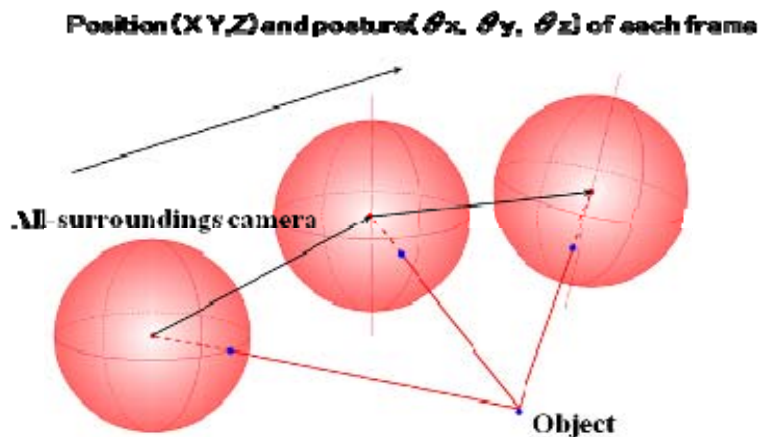
CV 値の補正

作成された CV 値は、3D GIS、CG モデリング等の用途で利用するために、絶対座標（公共座標）へのキャリブレーション、鉛直方向の調整等の補正を行います。通常は IMMS に含まれる、GPS デバイス、傾斜計により行いますが、各種コントロールポイントや、高精度地図等補正方法は様々な方法の中から要求、状況に応じて選択が可能です。

三次元座標の計測

映像から解析され、補正された CV 値は、弊社が別途開発したシステム（応用製品）に読み込まれることによって、映像内各フレーム、各ピクセルの三次元座標を取得することが可能になります。

全周動画映像内の任意の対象をクリックした際に、システムは背後でクリックされた対象を追跡し、他の動画フレームでの対応点を特定します。各動画フレームの位置及び姿勢は CV 値に含まれているため、三角測量の原理より、対象の三次元座標を計算することが可能です。



応用機能

三次元座標計測機能をベースとして、下記のような応用が可能となります。

- ・ 2 点間距離計測（同一フレーム内、フレーム間）
- ・ 面積、体積計測
- ・ 映像内対象物のトレース（デジタル化）
- ・ 映像内対象物の 3 次元形状の特定
- ・ 映像内画像の各種 3 次元投影（オルソ画像等）
- ・ 映像内対象物の三次元モデルを抽出

計測精度について

岩根研究所の CV 映像による画像内対象物の位置計測は、撮影された画像のみから独自の演算により求められるカメラ位置列 (CV 値) に基づき行われます。

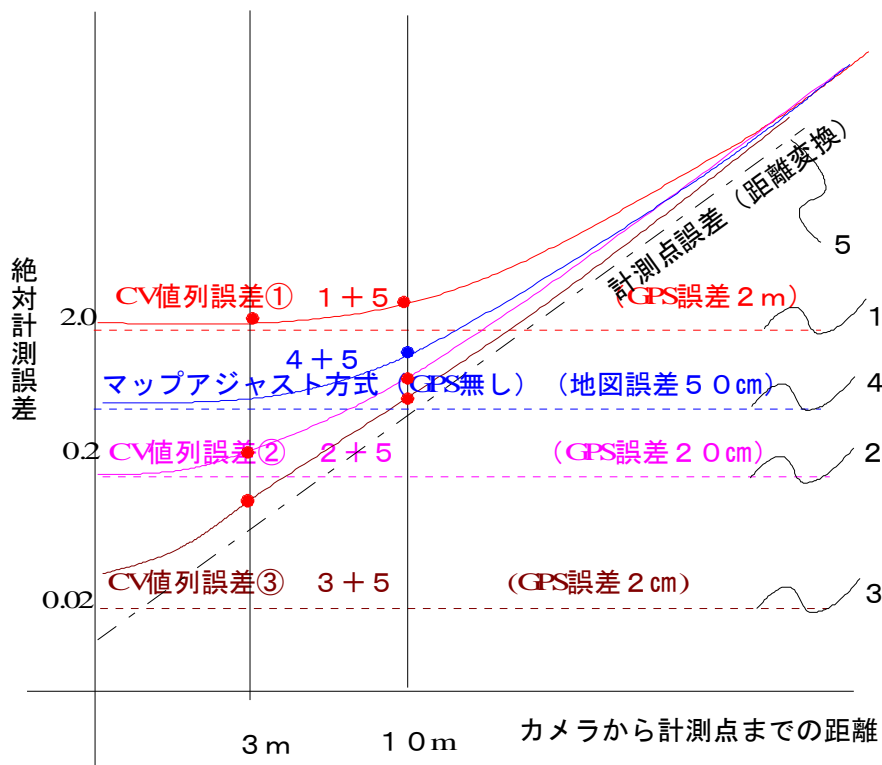
当初画像から演算によって求められるカメラ位置列 (CV 値) は相対値であり、そのまま絶対評価を行うことは原理的に不可能です。従って、計測点の絶対計測誤差は、相対値である CV 値を絶対値である地理座標にキャリブレートした後に初めて評価が可能になります。

計測点の絶対計測誤差は、下記二つの誤差の合計として表現することができます。

絶対計測誤差 = CV 値列誤差 (GPS データ列誤差) + 計測点誤差

最終の絶対位置列としての CV 値は、基本的に同時に取得した GPS の絶対座標位置列によってキャリブレーションしたものですので、カメラからの距離による絶対位置の誤差は、基本的に利用した GPS 精度で規定されます。

また、CV 値列自体の誤差とは別に、画像内の任意の点を指定して、三次元計測する際に生じる誤差が存在し、様々な要因により規定されますが (主として、画像の歪み、及びトラッキングエラー)、最終的には画像上の画素 (ピクセル) 上での誤差として現れるため、絶対的な位置の誤差はカメラから計測点までの距離に依存します。



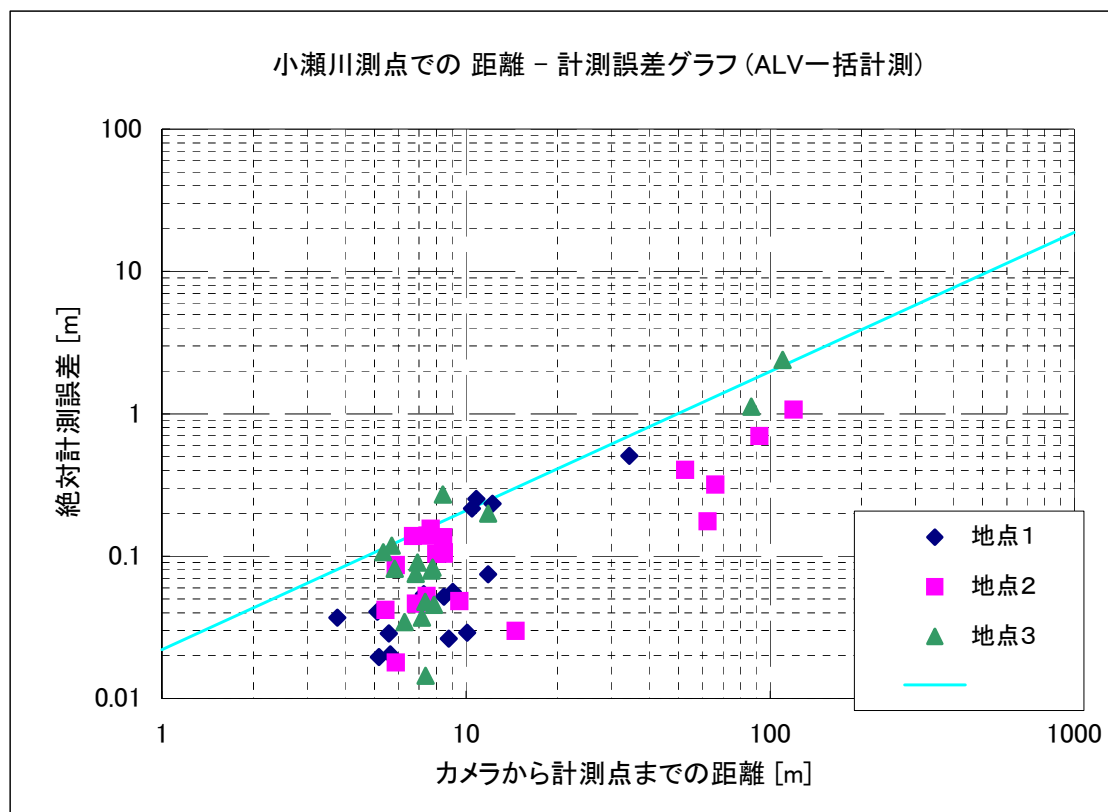
絶対精度

Ladybug 2 を使用し、当社の歪み補正を施した場合、その絶対精度を求めるとカメラから計測点までの距離が 10 m 程度では、概略計測点誤差は 15cm 以内に保たれています。これに GPS の持つ誤差(CV 値列誤差)を加えたものが絶対位置精度となります。

(例：GPS の絶対誤差が 20 cm の場合、3 次元計測誤差は 35 cm 以内。)

岩根研究所製品である ActiveLinkVision により、絶対位置が既知である画像内の 3 地域について計測を行い、絶対計測精度を評価したのが下記のグラフです。本サンプルでは CV 値列の絶対位置とのキャリブレーションを GPS ではなく、実測測量によるコントロールポイントを基に行っており、CV 値列の誤差は 10cm 以内と考えられます。結果、絶対計測誤差の上限値が距離に対して指数関数的に増加する傾向を見ることが出来ます（上記計測点誤差による）。

結果、カメラから 10m 以内の計測点においては絶対計測値の誤差が（1つの例外を除いて）25cm 以下となっており、上記精度を確認することが出来ます。



相対精度（距離計測）

画像内の二点間の距離計測の場合の誤差は、相対誤差となります。距離計測の場合は、計測点をマニュアルで指定することによる指定誤差が同程度発生しますので、拡大画像で指定することで指定誤差を減少させる必要が有ります。

① 動画を停止させ静止画フレーム内に始点終点を設定する距離計測のときの誤差はカメラから5 m～15 m程度の通常の計測範囲で、最大10 m程度の距離を計測した場合の誤差は最大±10 cm（1.0%）程度となります。

この時、1 mの距離を計測しても誤差の量は同等で最大5 cm（5%）程度となります。

② 始点終点が同一フレーム内に入らず、或いは一方が遠距離になり小さくなるような長距離計測の場合は、フレーム間計測となります。この時、計測ための両端二点のそれぞれ計測点に、最も近づいたフレームでそれぞれ始点と終点を指定することを原則とします。概略進行方向に始点終点をとって距離計測すれば、絶対誤差に由来することになり、常にGPSにより誤差累積が補正され、相対誤差量としては極めて良好となります。

- ・ 10 m～20 m程度の数フレーム間の距離計測は、上記で示したフレーム内計測と同等の15 cm程度です。
- ・ 20～50 m程度の距離では、GPS精度とCV値精度が切り替わる領域であり、概略15 cmから50 cmとなります。
- ・ 50 m以上の距離計測では、gpsによって誤差累積が補正され、どれほどの長距離でもgps精度とほぼ同等になります。この時の相対誤差は、例えば1000 mでのフレーム間計測誤差はgps精度により異なりますが、誤差20 cm程度のgpsを用いれば、車両進行方向では、60 cm程度になります。これは1000 mの距離を計測して、それを相対誤差率で表現すれば0.06%になります。高精度GPSを用いれば、概略その三倍程度の計測誤差となります。

その他補足

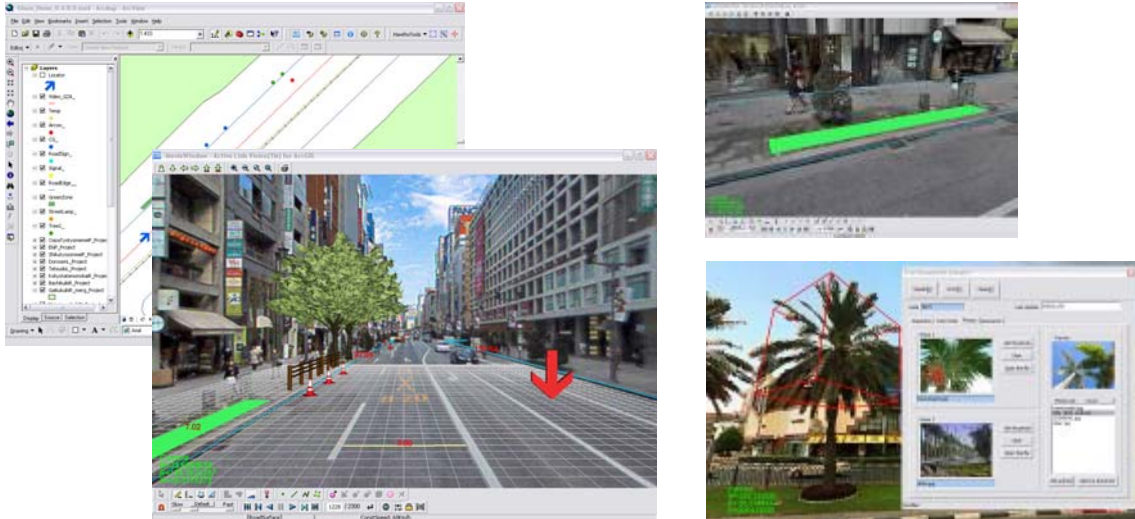
当社CV映像の長所としては、GPSに依存する絶対座標の絶対精度とは別に、距離計測における相対誤差に於いてはCV値列誤差に依存するため、往復路や交差点など、異なる時間帯に取得した画像でのCV統合により精度の良い対応が取れるため、新旧の画像間計測に於いても相対精度を上記程度に維持することができます。

また、実際問題として、画像上に計測地点を指定する作業において誤差が発生するので、それを考慮しなければなりません。計測精度を上げるには、地点指定時は数点の平均を取るとか、画像を拡大して指定する等の工夫が必要です。

応用製品

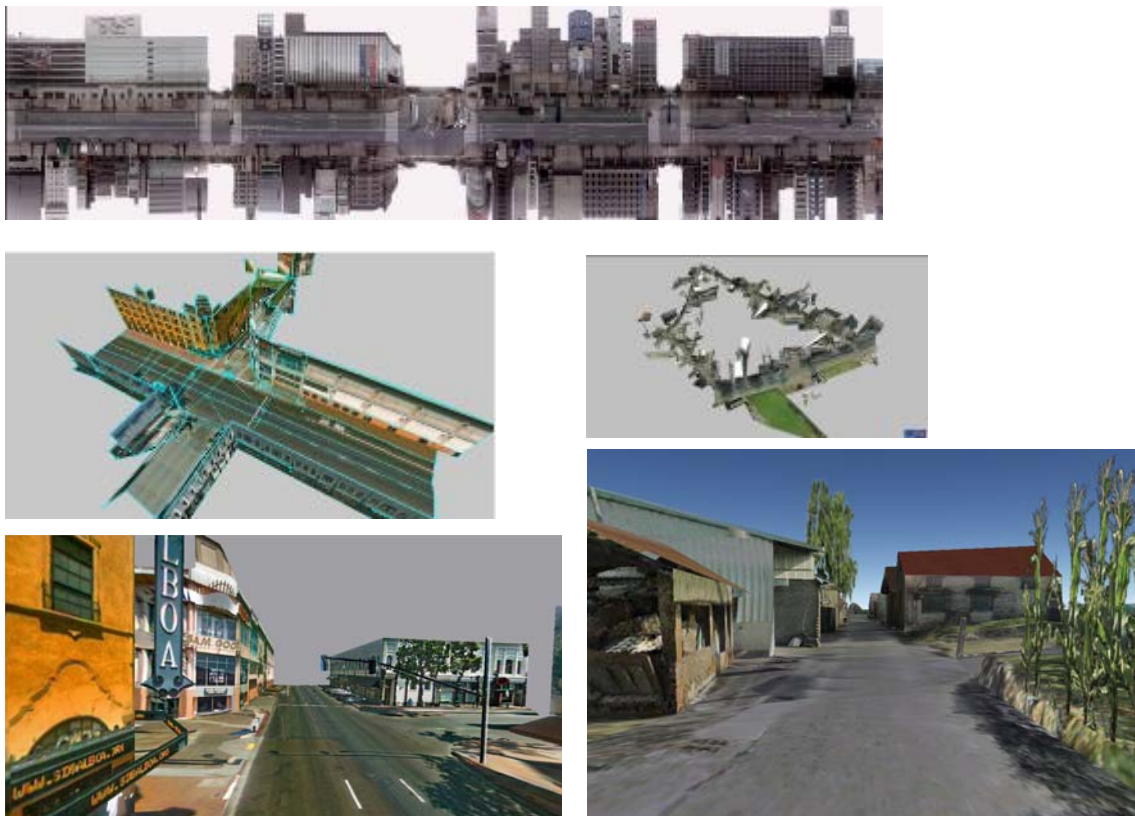
3D Video GIS “Active Link Vision”

映像を GIS のプラットフォームとして利用し、現実の映像内で各種情報の入力、更新、参照等が可能になります。



PCCI (Programmable Continuous Combined Image)

三次元空間内の任意の平面（ビル面）に映像を連続的に投影した詳細画像及びそれを用いた3次元モデルの生成が可能になります。



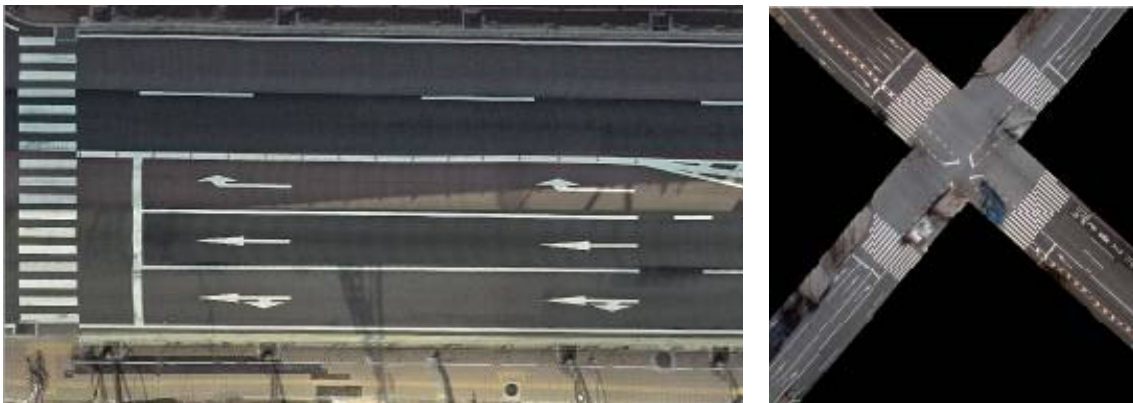
Super Wide Angle Image

人間の視界を超える画角 300 度の動画映像を作成できます。



オルソ画像

地上レベルの動画映像から生成した超高解像度オルソ画像が作成できます。



次世代カーナビゲーションシステム（開発中）

全周動画映像から作成した 3 次元地図を利用し、現在のマップマッチングを利用したカーナビゲーションを超える、高精度 3 次元ナビゲーションを実現します。

