

# ATR plus White paper



本版は英語版を訳したもので内容に関する正しい情報は英語版を参照ください  
Apr.2016

## はじめに-新しい自動視準 - ATR plus -

ATR plus は直観的なフィールドソフトウェア LeicaCaptive と組み合わせることで、LeicaViva、LeicaNova と Leica MultiStation のオートメーション・パフォーマンスを飛躍的に向上させます。ダイナミックなレーザーコントロール、レーザーの受光履歴、反射光を検査する能力などが ATRplus のオートメーション技術の代表的な機能です。

ATRplus は TS16/TS60 と MultiStations MS60 に採用されており、それらを手に入れた測量士は新次元のモーター式トータルステーションを存分に味わう事が出来るでしょう。

## イントロダクション

従来のトータルステーションでは機器を操作するオペレーターが刻一刻と変化するその環境を読み取りながら、機器の設定を詳細に行う事で成果を得ていました。

状況に応じてショートレンジを選択したり、移動体ロックに切り替えたり、ロックと自動視準を切替えたりします。しかし、状況は常に変わるもので一定の設定はあり得ません。その結果、数多くの設定の組合せが存在することになります。都度、細かく設定を切り替える事の出来るのは、全てを知り尽くしたプロフェッショナルのみで、実際には状況に関わらず、いつも同じ設定で作業を行います。結果、誤ったセッティングを採用することになり、何かしらの潜在的エラーが発生する事になります。ATRplus はこのような問題を解決するために誕生しました。

セルフコントロールと新しいアルゴリズムにより、常に環境に合わせた最適パラメータを自ら選択し、どんな状況においても最高の成果を提供します。

ATRplus は静止するターゲットに対する測定パフォーマンスを向上させた他、ダイナミックに動くターゲットに対しても常に最適な状態を維持するよう設計されています。

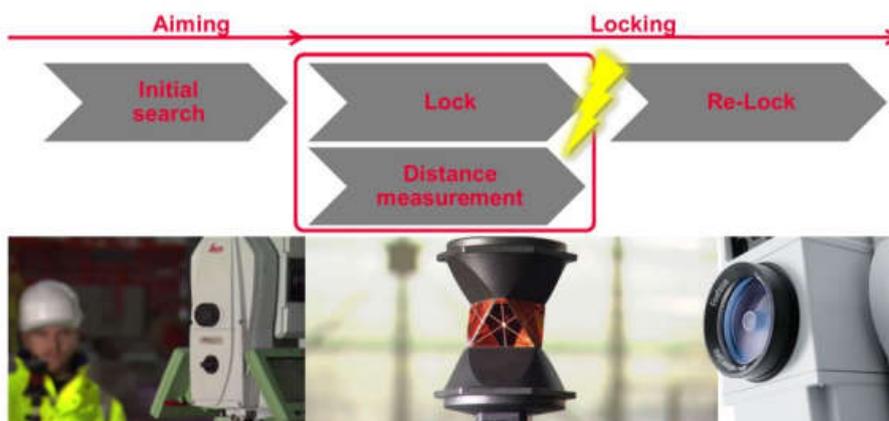
ターゲットの移動中は可視性と環境状況は常に変化します。例えば、太陽光が差し込んで来たり、他の光源が現れたり、、、。ATRplus の新しい画像処理は、非ターゲットのような外部の光源を認識します。追尾機能においては移動するプリズムの速さが大きな影響を及ぼしますが、ダイナミックに動くプリズムの追尾にも安定性を維持するために、測定同期を行う制御ループが開発されました。ATRplus は、プリズムの微妙な動きの変化にも追従します。

## サーチ - ロック - 再ロック

ターゲットを追尾する際、オートメーション・サイクルはサーチ、ロック、再ロックを繰り返します。オートメーションはプリズムサーチから始めて、連続的にロックします。ロックする時、ATRplus は連続的に距離を計り、プリズムの 3D 位置を確認します。

それでも、視通が遮断されてプリズムを失うかもしれません。そのため視通が回復する(図 1 参照)とすぐに再ロックできるというのは非常に重要な機能です。

図 1 オートメーションサイクル： サーチ、ロック、再ロック



## ATRplus

ATRplus は、全てのオートメーション・サイクルで効果的な役割を果たします。高い測定生産性向上のために使用可能時間（プリズムを追尾して距離を内部計算）をできるだけ長く保ちます。

新しい設計の ATRplus ですが、技術的には既存の ATR をベースにしています。望遠鏡による 1.5gon の位相で発する同軸赤外線レーザービーム (IR) 源から成り立ちます。レーザービームがプリズムに当たり、光線は望遠鏡へと反射します。ビームスプリッター（望遠鏡の光軸に配置）は、光線を光路から分離して、CMOS センサーの上へ IR 通過フィルタによって光を導きます。

CMOS センサーで反射されたレーザービームは明るい点として映ります。別のアルゴリズムとして画像データを評価し、プリズムスポットを確認してピクセル精度で点のセンターのピクセル座標を計算します。これらのピクセル座標で、ATRplus は光軸の中心からスポットセンターの逸脱を計算し、角度偏差と傾斜から最終的な水平方向と鉛直角を計算します。

## CMOS センサーのレーザースポット

レーザースポットのピクセル座標を計算するために、CMOS センサーは、高い精度で位置を感知しなければなりません。これを達成するために使用するレーザー出力エネルギーは正確に制御されなければなりません。エネルギーは発されたレーザーと CMOS センサーの集積時間で成り立ちます。あまりにたくさんのエネルギーはイメージの露出過度につながり、あまりに低いエネルギーであれなスポットはまったく CMOS の上で見えない場合があります。正しいエネルギーの状態を保つ距離、機器とプリズムの間の大気条件に影響します。

### ATRplus は CMOS センサーのレーザースポットとして反射されたレーザー光を見つけます

測定の時は距離も機器とプリズムの間の大気条件も、わかっていません。また、EDM の視野が ATRplus の視野より非常に小さいので、EDM 測定は現段階で可能ではありません。機器がプリズムに対してライン上に来る時、EDM 測定は実行されます。

ここで、再び ATRplus が必要です。ダイナミックなエネルギー制御は、CMOS センサーでレーザースポットの最適状態を得るために連続的に調整します。この正しいセッティングを見つけるために、異なるステップが必要となります。

初めに、現在の可視性と距離把握のために必須となる集積時間は、最大のレーザー力で計算されます。次に、結果として生じる集積時間がレーザーにとっての許容放出時間の範囲内であるかどうか確かめます。最大時間を越えると、より短い集積時間を可能にするためにアナログによる増減を行い、集積時間は再計算されます。スポットがあまりに明るいエネルギーは減らされます。

### ATRplus のダイナミックなエネルギー制御は、過酷な状況の下で、より良い測定パフォーマンスを実現します

ATRplus はエネルギー出力コントロールによりターゲットの状況（見え方、距離）を的確に把握することが可能です。従来の ATR はスポットサイズによって、機器とプリズムの間の距離を推定しました。これに加えて、距離に基づくエネルギーレベルの調節で、変化の大きい状況を判断します。例えば霧や雨の状況では、好条件時と比較してより高いエネルギーレベルを必要とします。ATR と対照的に ATRplus は距離と可視性を判断するのです。

## 無関係なターゲットからの反射を検知

全く関係の無い所(反射の良い物や光源)からの光、例えば反射ベスト等はエネルギーコントロールにより、測定するべきまたは追尾するべきターゲットでは無いと判断されます。もしも、反射面がきれいで、しかも機器に正対している状況であれば、機器にレーザービームが反射して戻ってきますが、そのような反射光は、プリズムと同じ明るさを持っていません。しかし、もしかすると遠く離れていて、なおかつ反射面が汚れている状況のプリズムと類似しているように判断することもできます。このようなケースでは、ATRplus はそれに応じてエネルギーを調節します。そのようなターゲットの視準や追尾を避けるために、スポットアナライザーが反射を判断します。スポットアナライザーはプリズムのスポットを評価し、それが本当のプリズムかそうでないのか決定します。

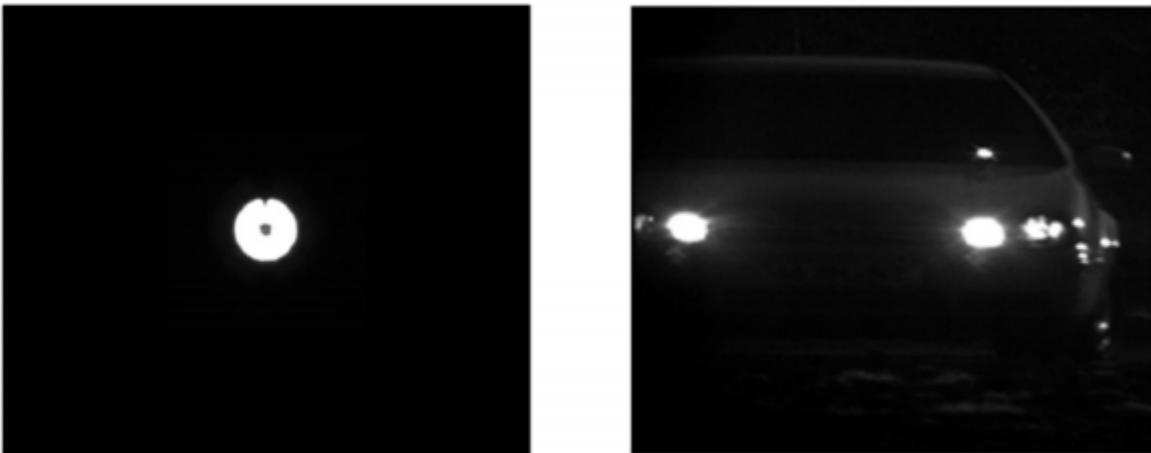
測定の間、非プリズムを見つければ一旦測定を止めてメッセージを表示します。精密サーチを使用してプリズムをサーチする時、各々のスポットは分析され、非プリズム反射が見つければサーチは低いエネルギーでそのまま続けられます。以降、そのような反射スポットは CMOS 上には現れないでしょう。

**ATRplus のスポットアナライザーは、異なる反射としてあり得る反射ベストまたは道路標識のような微妙な反射物を検知することができます。**

## 外部からの光源を検知

外部からの光源、例えば太陽光や自動車のヘッドライトのような車、道路標識、ウインドウ、水など明るい光は、CMOS センサー(図 2)のように見えることがあります。

図 2 CMOS センサーのイメージ 左:プリズムスポット 右:車のライト



そのような反射や光は、プリズムと類似しているように見えますが、正確に特定されなければなりません。しかも、追尾中 CMOS センサーではそのような反射がいきなり現れることがあります。

さらに何らかの障害によりプリズムが一時的に消えるなども想定できます。レーザーの発射をとめると外部からの反射は CMOS センサーにとっては唯一映り続けます。したがって、そのような光は測定や追尾の対象として避けるべきと判断できます。

従来の ATR はレーザービームを使用せず、暗色イメージを感知していました。これにより外からの反射だけが見えることとなります。しかし、プリズムスポットが見えない時点ではこのイメージを測定に使用できず、プリズムロックもできませんでした。また、プリズムが機器に近接する状況ではプリズムの相対速度は高くなりますが、できるだけ速く、判断しなければなりません。このような不確かな状況で ATRplus は第 2 のイメージとなる灰色イメージを使います。ここでは、レーザー出力は、部分的に減らされているだけです。

CMOS センサーの集積時間が一定なので、外部の反射は同じ明るさで全てのイメージに現れます。プリズムスポットは明るいイメージと灰色イメージを合わせて判断します。測定には品質を保つため、明るいイメージで発生した偏差だけを記録します。追尾には内部的処理で灰色のイメージのみ使用します。従来の ATR と比較して、ATRplus のために使われる新しい概念は、外部からの関係ない反射光に対して、より強力に設計されています。図 3 は ATRplus の能力を 1000m 付近で検証した結果です。

図3 ATRplus(左)とATR(右)の比較。車のライトに反応するATR



## ヒストリーログ

CMOS センサーで検知してプリズムではないと判断された数フレームがログとして保存されます。また、他のプリズムが ATRplus の視野に現れれば、もう一つのプリズムとして判断できます。このように、望遠鏡の視野の全てのターゲットは内部で一時的な ID ラベルが付きヒストリーログとして保存されます。使用中のプリズムが突然消えてもログが残っていれば、その他の第 2 のプリズムが現れても、無関係なプリズムとしてヒストリーログを使い、機器は予測モードに変わって第 2 のプリズムをロックしません。

ヒストリーログでは以下を保存します：

- ・プリズムスポット(場所と明るさ)
- ・外部からの反射光(位置と数そして反射)
- ・無関係のプリズム(位置と数そして反射)

ヒストリーログはプリズムロストした後、外部の光源または反射に対してロックすることを防ぎ、予測完了するまで有効でプリズムであるかどうかについて決めるのを助けます。図 4 は、ロックされたプリズムが木の後ろで消える状況を表示しています。この時もう一つのプリズムが木の前にありますが機器は前のプリズムをロックしません。

図 4 左:2つのプリズムが見える状況(GZR と GPR) 右:ATRplus で見た2つのプリズム



## パフォーマンス

トータルステーションとマルチステーションの高いオートメーション機能は追尾測定アプリケーションにおいて、そのパフォーマンスを最大限に発揮します。

より速く、正確にターゲットを狙い、追尾する能力は非常に重要です。そのためには ATRplus、モータ、パワーサーチ、最適なアルゴリズム、パワフルなプロセッサと測定の総合的な同期が重要な要素となります。建設機械などダイナミックな対象を測るとき、機器は厳しい条件を要求されます(図 5 参照)。そのためには様々な環境状況において想定外の動き(進路変更等)にも対応できるように設計されなければなりません。

図 5 テストシナリオ 追尾をする上で考えられるネガティブな環境(雨、霧、強烈な光源、複数のプリズム)



全ての可能性に対応するために、パフォーマンスを向上させるだけでは片手落ちと言えるでしょう。それと共に、機器の操作性も重要となります。最小限のセッティングでシンプルな操作が要求されます。したがって、使いやすさと複雑な測定状況に対処する能力で、ATRplus の利点はユーザーに対して最大限の成果を提供できます。

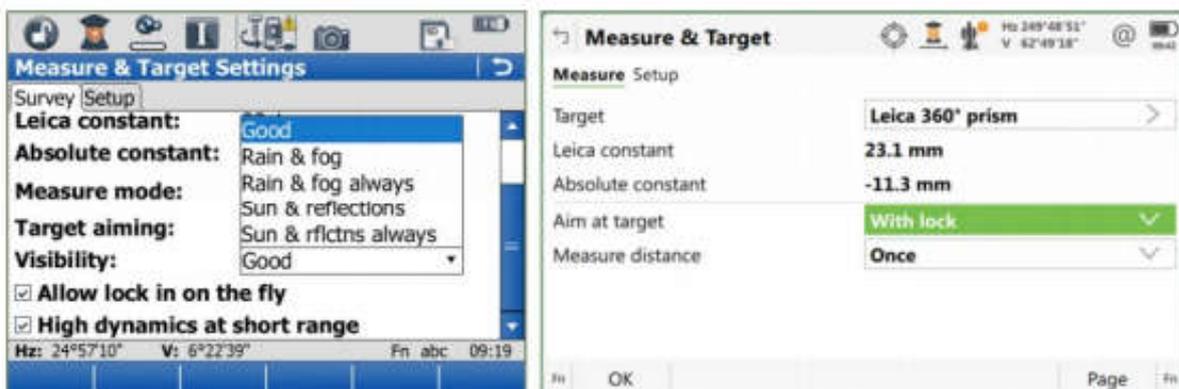
## 最小限のユーザー設定

ATRplus が距離と環境状況に基づくレーザー・エネルギーを自動的に、そして連続的に調節することで、ユーザーの操作は最小限に抑えることができます。

環境状況(例えば雨と霧)による最適な設定と予測されるターゲットの動きは機器が判断し自動セッティングされます(例えば従来はショートレンジなどを手動設定していた)。

ATRplus は、可視性(図 6 左参照)に関して、以前のセッティングを必要としません。ただプリズム・タイプと距離測定タイプ(図 6 右参照)の設定するだけです。

図 6 TS15(左)と比較した Captivate の判りやすさ。



**ダイナミックなエネルギー制御、スポット分析と高次元の測定同期は、自動パラメータ選択を可能にします。**

ダイナミックなエネルギー制御、モーター制御コントローラと高次元の測定同期は、ユーザー処理の簡略化のために重要です。表1は従来のATRと比較したATRplusの能力を比較しています。

表1 SmartWorxVivaとCaptivateのセッティング比較

	SmartWorx Viva	Leica Captivate
<b>Visibility (environmental condition)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Good</li> <li>▪ Rain &amp; Fog</li> <li>▪ Sun &amp; Reflection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No settings needed</li> </ul>
<b>Range information</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ High dynamics at short range</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No settings needed</li> </ul>
<b>Distance measurement mode</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Continuous</li> <li>▪ Continuous+</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Continuously</li> </ul>
<b>Dynamic information</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Allow to lock in on the fly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wait &amp; lock directly accessible</li> </ul>

## ATRplus 範囲

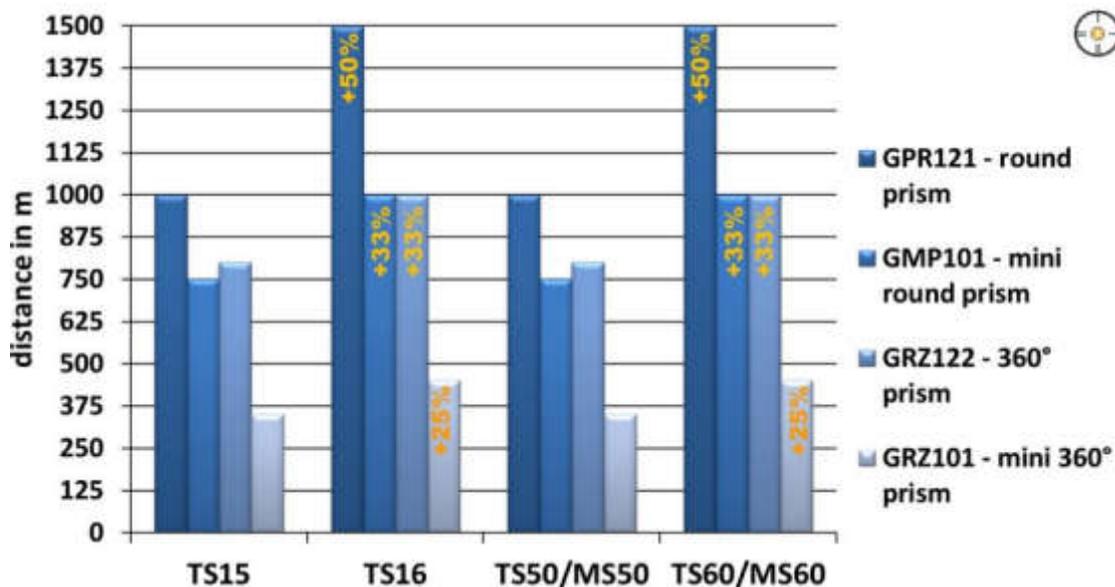
手動セッティングの作業削減の他、連続的なエネルギー制御により作業エリアの範囲が拡張しました。ターゲットタイプに従い1500m(図7参照)範囲に達することができます。

図7 静止しているターゲットへの捕捉範囲



ATRplusは、従来のATRと比較して、円形プリズム(GPR121)では50%以上の作業範囲を拡張しています。図8はATR(TS15/TS50/MS50)をATRplusの(TS16/TS60/MS60)比較している拡張自動視準範囲を示します。

図8 ATRplusとATRのプリズム別捕捉範囲 グラフ中の増加%がATRとの比較



カタログ上の自動視準の動作範囲は理想的な環境状況による物です。したがって、雨、気温、湿度、微光、ちりのような複雑な状況の下では保証できるものではありませんが、ATRplus では認識可能な範囲が従来の ATR よりも拡張されています。

## ロック

追尾アプリケーションについては、プリズムの追尾距離範囲も 1000m を達成し、高速で移動するプリズムの測定を可能にします。

機器からの距離が 10m 付近における横方向のプリズムは 80km/h の速度で追尾することが可能です。

距離測定に関して、それぞれの機器の距離測定技術によって (MultiStation と TS) 差があります。

PinPoint R1000 では速度制限が 20km/h (図 9 参照)。MultiStation の PinPoint R2000 EDM は 50km/h を可能にします。

図 9 ロック範囲とロック対応スピード

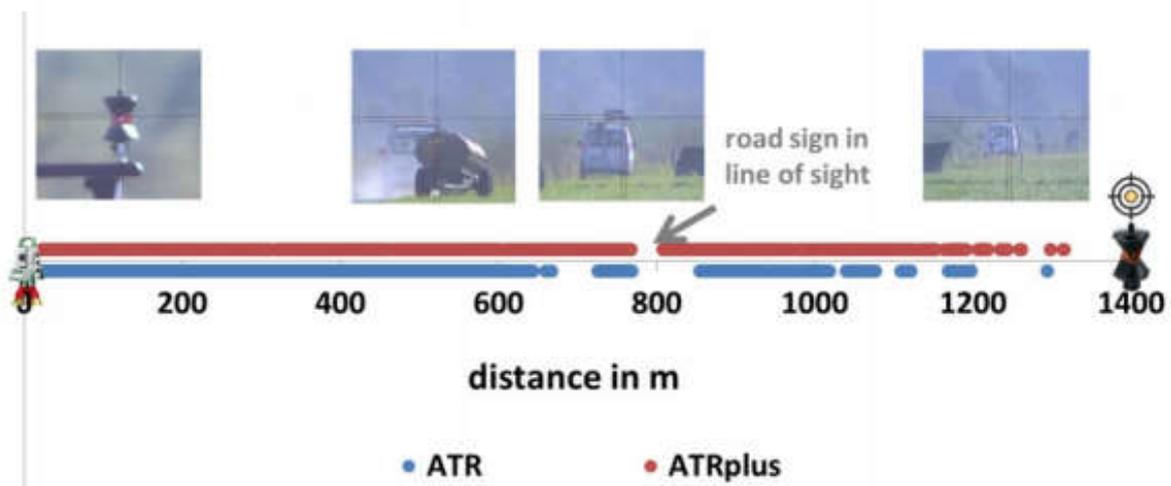


図 10 は、ATRplus の改善されたロックと追尾パフォーマンスを示しています。

数字は ATR と ATRplus で 360° プリズム (GRZ122) を測定した場合の測定パフォーマンスです。

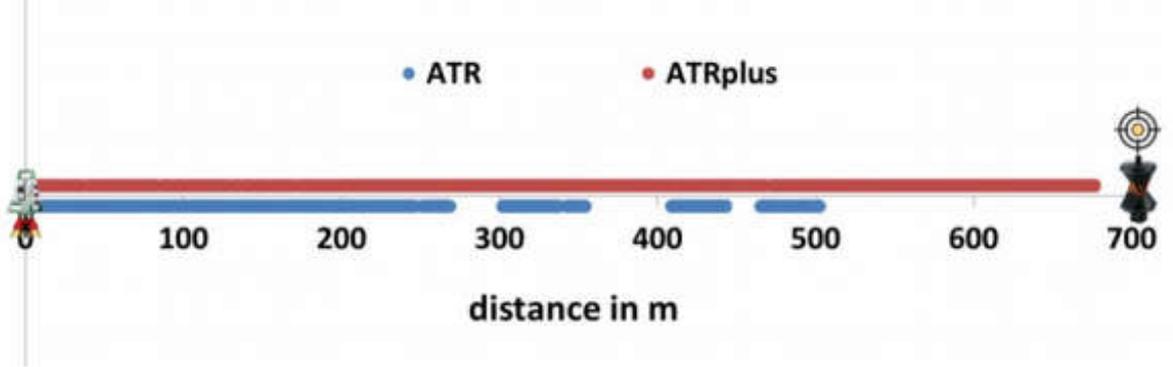
ATRplus による測定を見ると、ATR とい比較して、より多くのデータ量とわずかなデータロスである事が判ります。

図 10 太陽光の下で追尾と測定



より広い範囲でプリズムロックが安定して行える他に、ATRplus は一時的に失われたプリズムをより速く再ロックさせる事ができます。しかも、外部からの光源など作業に関係のない紛らわしい光に対しても強化されています。雨降りなど過酷な状況でも激しく動くターゲットを安定して追尾することができます。図 11 では安定したロックと追尾を示しています。遠い距離にあるターゲットの安定したトラッキング能力は ATRplus の大きなアドバンテージとなっています。

図 11 雨天での追尾と測定



ATRplus の自動視準とロックのパフォーマンスは現場の要望に対し、よりフレキシブルで満足を得られます。

## 自動視準の精度

ATRplus の精度は最も高い測角精度を可能にしています。

LeicaNova TS60 – 最高峰のトータルステーション – の ATRplus は、ISO17123-3 による自動視準の精度に準拠した 0.5" を達成しています。

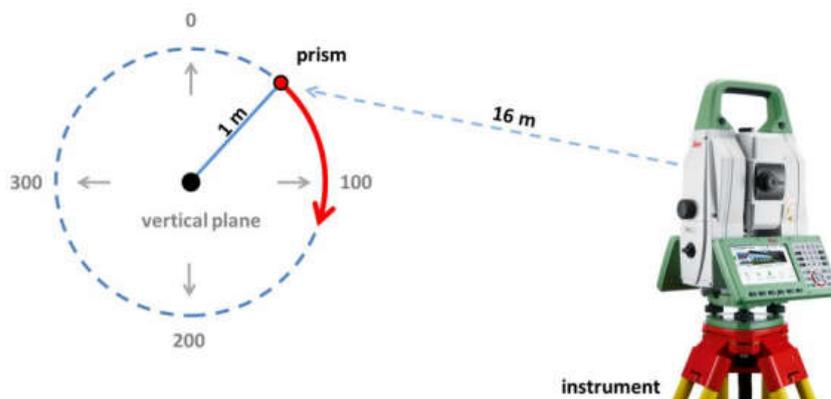
表 2 自動視準を使用したときの測角精度

	Specification <sup>3</sup>
Leica Viva TS16	1" (0.3 mgon), 2" (0.6 mgon), 3" (1 mgon), 5" (1.5 mgon)
Leica Nova TS60	0.5" (0.15 mgon)
Leica Nova MS60	1" (0.3 mgon)

## 追尾中の測定精度

トータルステーションはマルチ・センサー・システムです。正確な位置(座標)を得るためには、数えられない程の異なる分野のセンサーを持ち寄って測定し、評価する必要があります。動くターゲットを正確に追尾して、測定を行うような作業は高感度かつ高速のセンサーと起動装置が要求されます。さらに、集められたデータを正確に評価するための専門知識も必要とされます。ダイナミックに動くターゲットを追尾しながら最も高い精度を得る複雑なシステムは各センサー類が高い次元でシンクロしなくてはなりません。ATRplus が測定する結果は測角、距離、機器の傾き等が最適にシンクロして信頼のおける結果を導き出します。各センサー間の同期に関して、以下の検証をしました。およそ直径 1m (図 12 参照) の垂直に立った車輪が回転する間、機器は 360° プリズムを 30 回転追尾し続けます。この検証から測角、ATRplus 測定と傾きセンサーとの同期をテストすることができます。

図 12 検証

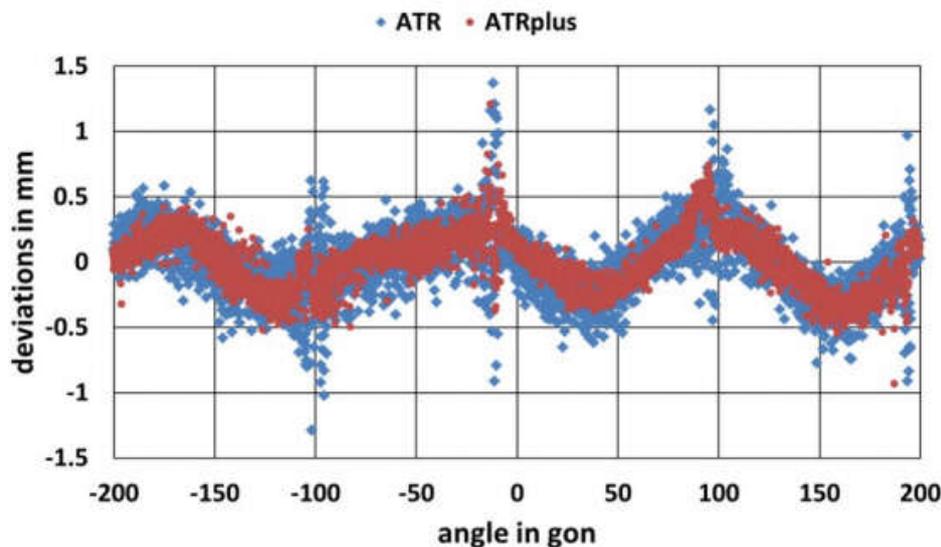


回転する車輪の上に置かれたプリズムを追尾中に器械から見てそれまでとは逆の方向に動く瞬間が危険な瞬間と言えるでしょう。実際の現場ではこのような動きこそ非常に重要です。水平角で 90 度と 270 度の位置、そして、鉛直角では 0 度と 180 度にその瞬間は訪れます。

**トータルステーションのセンサー同期は、ダイナミックに動くプリズムにも非常に正確な測定を可能にします。**

図 13 は、ATR と ATRplus 寸法の結果を表示します。数字は追尾中の測定値と理論値の差で示します。(最小二乗法の調整手法で計算)。測定同期は 100% 正確ではないので周期的な性質はあります。ATR と ATRplus の逸脱のパターンは類似していますが、ATRplus の同期能力は明白です。データの散布具合と逸脱の縮小ならびに折返し点でのより少ないバラつきが判ります。

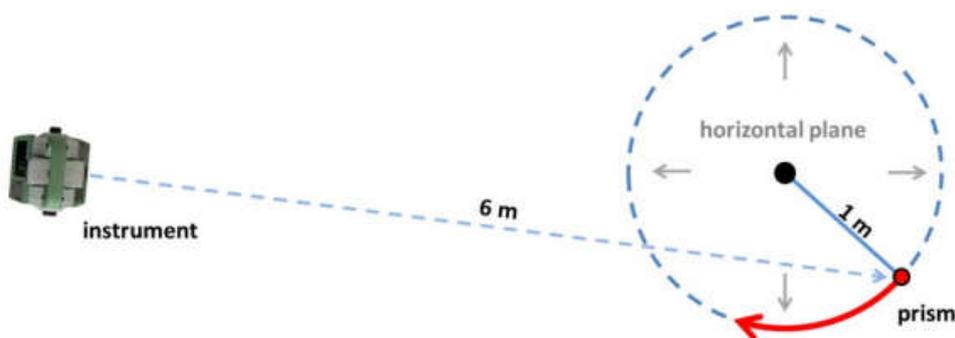
図 13



車輪が水平面(図 14 参照)で回転する場合、ATRplus 測定と傾き測定により、距離と角度の同期を見ることができます。

より大きな距離変化による時間同期の違いは、理想的な円軌道の逸脱とみなされることがあります。

図 14

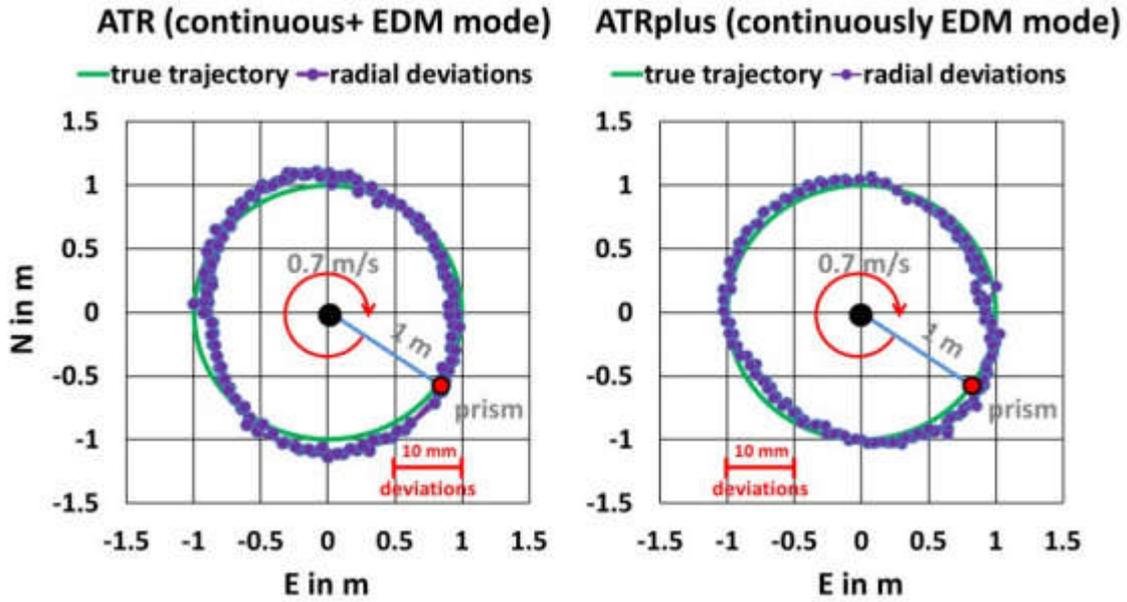


本来の軌道に対して測定値の逸脱を計算するために、測定データセット(図 15 参照)に当てはめるために、最小二乗法を使用します。逸脱の値(測定-円)は以下の式を通して計算しました:

$$d_i = \sqrt{(m_1 - \xi_i)^2 + (m_2 - \eta_i)^2} - r$$

•  $m_1$   $m_2$  : 円の中点/r: 半径/  $\xi_i$   $\eta_i$  : 2D 測定座標

図 15



逸脱の90%の分位数(表3参照)はATRからおよそ20%のATRplusまで改善を示します。

表3 leica Viva TS15(ATR)とLeica Captivate TS16(ATRplus)の比較

Technology	90% quantile
ATR	2.19 mm
ATRplus	1.75 mm

数値は、実際的な状況で改善された同期の影響を示すための説明です。ただし、設定の状況によって変化するかもしれません。ATRplusは追尾中の測定と静止しているターゲットへの測定についての精度のギャップを少なくすることに成功しています。

## パワーサーチ

たとえ安定した追尾が可能になっても、ターゲットが隠れてしまえば、追尾はできるものではありません。この時に重要なのは、いかに容易にターゲットを再ロックできるかです。

パワーサーチは再ロックするのに効果的な機能です。パワーサーチを開始すると可能性がある反射物を見つけて、反応順にサーチしていきます。複数のプリズムが見える(図 16 参照) 特定の状況では関係の無い物が存在し、それらもサーチしてしまう可能性があります。この状況をさけるために、いわゆる「パワーサーチフィルター」を実行します。

図 16



## パワーサーチフィルター

機器はフィルターランを実行し、無視すべき対象物を記憶します。

無視すべき対象物は Hz、V と距離によって定義され、パワーサーチモジュールで内部計算されます。パワーサーチモジュールは、Hz=0.2gon(1 $\sigma$ )内、距離で 1.5m(1 $\sigma$ )内の範囲で定義し、除外範囲は上記からさらに水平方向で 1gon、奥行方向は $\pm 10$ m で定められます。パワーサーチの動作では垂直方向のサーチ範囲は $\pm 36^\circ$  (水平を  $0^\circ$  とする)です。

パワーサーチフィルターが作動中であるならば、上記の基準を満たす対象は無視されます。パワーサーチフィルターは左上アイコン(図 17 参照)を押すことによって、起動することができます。

フィルターランが開始されると上方向、水平方向、下方向の 3 方向に対して 3 回旋回(30 秒程度)してターゲットを記憶します。

図 17



器械の周囲をスキャンすることで除外すべき対象を上記の内容で記憶しますが、既に設置している器械点も後で除外対象に含みたい場合は器械点設定実行中に設定することができます。

器械点設定の画面で F2 設定に進み、パワーサーチフィルターへ器械点を追加にチェックを入れます。

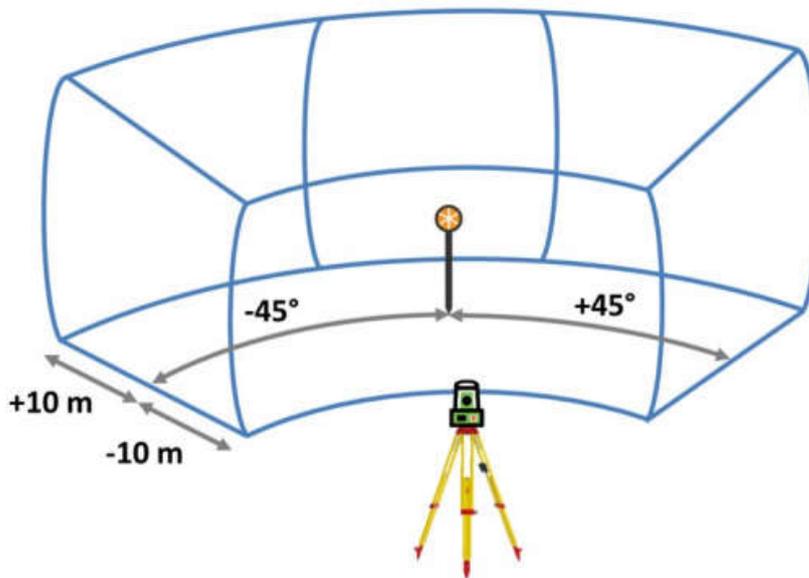
フィルターランは、時々更新することをお勧めします。現場の状況も時間とともに変わるため必要かもしれません。

## 90 度サーチ

90 度サーチ (CubeSearch) は追尾中にプリズムをロストした際に有効です。動作としては見失った位置から一旦後方に 45° 戻り、その位置から 90° (以上) の範囲でパワーサーチを実行します

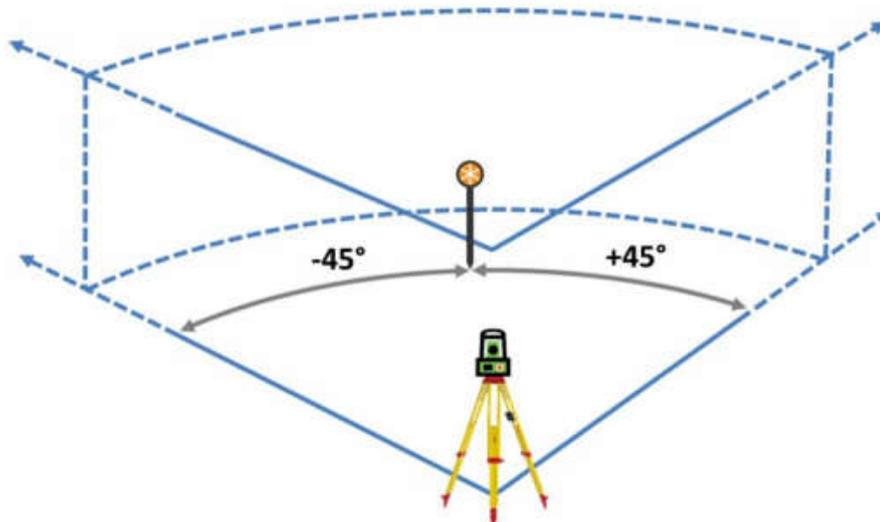
この最後の位置で有効な距離が利用データがあれば、パワーサーチは ±10m の範囲だけでサーチします (図 18 参照)。もちろん、フィルターランが作動していれば不要なターゲットは無視されます。

図 18



有効な距離がないと 5m - 300m の半径方向で範囲を広げます (図 19 参照)。

図 19



## 総括

サーチ、ロック、再ロックはオートメーショントータルステーションの重要な機能です。

プリズムをロックして追尾を開始すると、距離のトラッキング測定が開始され、3D 座標が記録されます。最先端に行く測量士は正確で信頼できる 3D データを有効活用するでしょう。ATRplus は、このオートメーション・サイクルで非常に優れた機能を持っています。高い生産性は、作業時間にも強く影響します。

ダイナミックなエネルギー制御、ヒストリーログ、スポット確認のための知的なアルゴリズム、ターゲットサーチと高い次元のセンサー同期は、ATRplus に対するオートメーション・パフォーマンスの主な特徴です。

自動視準技術は一般的な技術になっている今日、Leica ATRplus の技術はトータルステーションとマルチステーションをより知的にし、他にはない次世代へオートメーション・パフォーマンスを実現しています。誤った設定による不可解なエラーを減らして、オートメーション化した測量の境界を拡大します。