

レーザー方式による 100m およびハードルのスピード分析

松尾彰文¹⁾ 広川龍太郎²⁾ 杉田正明³⁾ 阿江通良⁴⁾

1) 国立スポーツ科学センター 2) 北海道東海大学 3) 三重大学 4) 筑波大学

はじめに

陸上競技短距離では最大スピードの分析はビデオカメラやレーザー方式の計測で得られており、多くの報告があり(阿江ら, 1994, 松尾ら, 1993, 2004, 杉田ら, 1997, 2004), ゴールタイムと密接な関係があることが論じられてきている。ビデオ方式では、一つのレースに参加したもののすべてのラップタイム分析ができるが、ラップタイム分析地点ごとにビデオカメラの設置が必要であるし、解析には時間を要する。しかしながら、トレーニングの目標となる30m, 50mや60m等のラップタイムが計測できる。一方、レーザー方式のスピード計測装置では、即時的にしかも、連続的なスピードの変化から最大スピードが評価できるが、装置1台で1名の測定しかできない。ノイズを取り除くためのフィルターの周波数によって最大スピードが影響されるため、金高ら(1999)は、0.5Hz程度の遮断周波数による評価が望ましいことを報告している。また、レーザー方式によるラップタイム推定では遮断周波数の影響が少ないことが報告(松尾ら, 2007)されてい

る。これらの成果をふまえるとレーザー方式の利点であるレース中の最大スピード分析だけでなく、途中のラップタイムの評価にも活用できるものと考えられる。そこで、本報告では、2006年に開催された織田記念、大阪グランプリ、日本選手権などで計測した男女の100m, 100ハードルおよび110ハードルにおけるスピード分析およびラップタイム分析結果と、その活用法について報告する。

方法

選手のスピード計測に用いたのはレーザー方式による装置(LDM300C-Sport; JENOPTIK社製)は、ランナーの背中にレーザービームを照射して得られる反射光から10msecごとに距離が計測できるものである。この装置の距離の測定誤差は、7cmであり、レーザー光は安全規格で最も安全とされているクラス1である。

この装置1~4台をスタートの後方のグラウンドレベルまたはスタンドに設置して計測した(図1)。計測の対象選手の抽出には、大会プログラムに記載



それぞれの大会で、この装置を1~4台をスタートの後方のグラウンドレベル、もしくは、スタンドに設置した(図1)。計測の対象選手は、1レース、1名もしくは4名であった。なお、2005年の日本選手権では、正面から計測した。

図1. 競技場での計測装置の設置風景(左; 2006大阪GP、右; 2005スーパー陸上)

表1. ゴールタイムの上位5例の風速、ゴールタイム、最高スピードとその到達区間（ハードルの場合には台数で表示）。同一大会では決勝レースを優先した。

種目	選手名	大会名	風速 m/s	ゴールタイム 秒	最高スピード m/s	到達区間 m
男子100m	Gatlin	大阪グランプリ	-0.1	9.95	11.7	55
	末續	スーパー陸上	2.2	10.12	11.5	55
	塚原	スーパー陸上	0	10.26	11.4	55
	末續	大阪グランプリ	-0.1	10.28	11.2	55
	日高	織田記念	1.6	10.31	11.2	65
女子100m	Felix	大阪グランプリ	2.6	11.11	10.4	55
	Sherone	スーパー陸上	-0.8	11.15	10.3	55
	Durst	大阪グランプリ	2.6	11.16	10.3	55
	信岡	大阪グランプリ	2.6	11.53	9.9	45
	北風	織田記念	2.5	11.59	9.8	45
男子110H	liu	大阪グランプリ	1.2	13.22	9.1	3-4
	田野中	織田記念	3.3	13.51	8.8	5-6
	内藤	織田記念	1.5	13.59	8.8	10-Goal
	内藤	スーパー陸上	-1.3	13.61	9.0	3-4
	内藤	大阪グランプリ	1.2	13.64	8.9	3-4
女子100H	池田	織田記念	1.9	13.04	8.5	4-5
	石野	日本選手権	0.3	13.3	8.2	5-6
	Bliss	織田記念 予選	0.2	13.48	8.1	5-6
	石野	織田記念	0.5	13.49	8.2	3-4
	熊谷	日本選手権	0.3	13.63	8.1	4-5

された記録や陸連強化コーチらから意見を参考にした。

男女100mでは10mごとのラップタイム、ハードルでは、ハードル設置地点の通過タイムを算出した。ハードルでは、従来より報告されているタッチダウンタイムとは異なるラップとなる。レーザー方式の計測装置からは100Hzの時系列データとして距離のデータがコンピュータに記録される。時間×距離関係から、ゴールタイムをゴール地点通過タイムとして、10mごとのラップタイムおよびハードル通過タイムを算出した（松尾ら、2007）。ラップタイム算出には、時間距離データに遮断周波数5Hzのバターワースフィルターをかけた距離のデータを用いた。

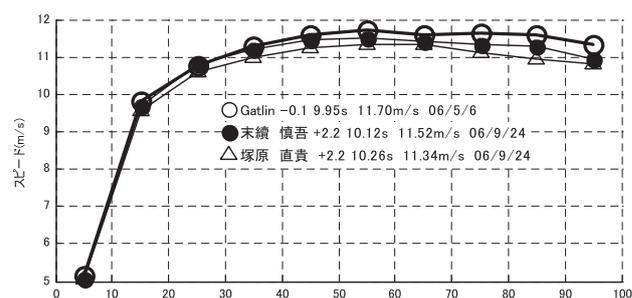
結果および考察

本年度収集した100mレースは男子48例、女子は48例、ハードルでは、男子110ハードルは34例、女子100Hは29例であった。それぞれでゴールタイムの上位5例の最大スピードと到達区間を表1に示した。到達区間の値は、区間の中間の値、ハードルでは台数目で区間を表示した。大阪グランプリ、インターハイ、南部陸上では、グランドレベルからの計測が行えた。なお、ハードルでは、スタンドにラベックを設置した場合、ゴールまで計測できない例（織田記念および日本選手権の内藤選手や織田記念Bliss選手など）が多かった。

1. 男子100m

図2には、06年度で計測できたデータで上位3レースのスピード変化をみたものである。本年度計測した最速の記録は大阪グランプリにおけるGatlinの9.95であり、そのときの最大スピードは11.70m/secであった。このスピードは、従来の報告と比べると、91年世界陸上東京大会のルイスの9.86secの12.05m/sec（阿江、1994）よりも低い値であるが、04年同大会でのGatlin(9.97sec)のレース中に観測されたスピードである11.75m/sec（杉田他、2004）とほぼ同水準の値であった。次の記録は末續の10.12sec、最大スピードは11.50m/sec、塚原の10.26sec、10.41m/secであった。スピード曲線を見ると20mから30mの区間スピードをみると末續とGatlinはほぼ同レベルの値を示している。これは末續の加速がGatlinとほぼ同水準にあったことを示す結果である。最大スピードをみると、末續は11.50m/sec、Gatlinは11.75m/secであり、0.25m/secの差がみられた。このスピードの差がゴールタイムの差となっているのであろう。

図3はGatlinの05年スーパー陸上の10.07secと06年大阪グランプリの9.95secとを比較したものである。上段のスピード変化をみると、最大スピードでは、9.95secの場合11.70m/secと10.07secの場合の11.66m/secと0.04m/secの差であった。スピード曲線を見ると10mから40mまでの加速区間およびゴール前で9.95secの場合の方がわずかではあるが高い値を示したが、60mから80m付近では、ほぼ同じようなスピードであった。このようなスピードの変化が具体的にどのような差になるのかをみるために、



ラップタイム(上段)と区間スピード(下段)表 DB:m100mDB070516LD.mat

0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
06/5/6 Gatlin -0.1 9.95s 11.70m/s dt 0.05s										
	1.93	2.95	3.88	4.77	5.63	6.49	7.35	8.21	9.07	9.95
	5.17	9.80	10.77	11.29	11.60	11.70	11.60	11.64	11.61	11.34
06/9/24 末續 慎吾 +2.2 10.12s 11.52m/s dt 0.09s										
	1.97	3.00	3.93	4.82	5.69	6.56	7.44	8.32	9.21	10.12
	5.07	9.70	10.81	11.22	11.45	11.52	11.43	11.32	11.27	10.94
06/9/24 塚原 直貴 +2.2 10.26s 11.34m/s dt 0.09s										
	1.97	3.02	3.96	4.87	5.76	6.64	7.53	8.42	9.34	10.26
	5.07	9.58	10.59	10.99	11.25	11.33	11.34	11.12	10.96	10.83
0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m

図2. 06年度計測できた100mレースにおける上位3レースのスピード変化、

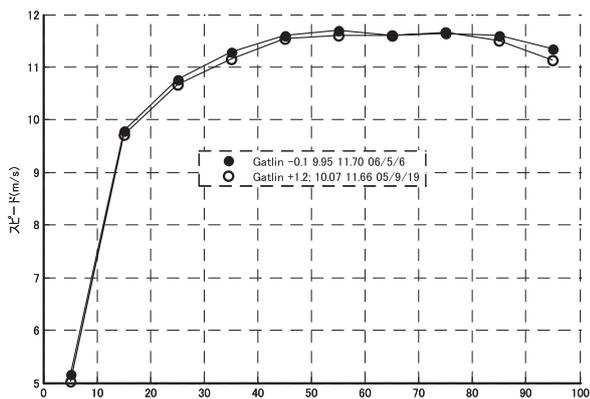
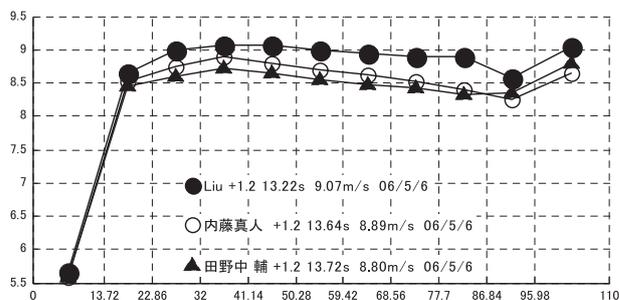


図3. Gatlinの05年スーパー陸上での10.07secと06年大阪グランプリでの9.95secで、スピードとラップタイムの差の比較。上段がスピード変化、下段が両レース中のラップタイムの差である。

10mごとに、両レース中のラップタイムの差として示したのが下段の図である。図中のマイナスの値は、9.95secのラップタイムからの遅れを示している。この図で右肩下がりには差が広がること、変化しない場合には差が広がっていないことを示している。スタートから60mまでは徐々に差が広がりほぼ0.1秒の差となっていた。トップスピードを維持している区間である60mから80mまでの区間では、差が広がっていなかったが、その後、ゴールまで徐々に差が広がり、ゴールでは0.12秒の差になっていた。この2つのレースの比較から、トップスピードに差がなくともスタート過程でほぼ0.1秒、ゴール前のスピードが逡減する区間で0.02秒の差がついたことになる。このような結果からこの2つのレースの差は、主にスタートでの加速過程の違いによるものであろう。このようにラップタイムを比較することは、加速過程、トップスピード、ゴール前の局面を評価するために活用できる可能性を示すものであ



ラップタイム(上段)と区間スピード(下段)表 DB:m110HDB070506LD.mat

S	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	G
06/5/6 Liu	+1.2	13.22s	9.07m/s	dt 1.10s							
	2.42	3.48	4.49	5.50	6.51	7.53	8.55	9.58	10.60	11.67	13.22 s
	5.67	8.65	8.98	9.06	9.07	9.00	8.94	8.90	8.89	8.57	9.05 m/s
06/5/6 内藤真人	+1.2	13.64s	8.89m/s	dt 1.19s							
	2.46	3.53	4.58	5.60	6.64	7.69	8.75	9.82	10.91	12.02	13.64 s
	5.58	8.53	8.75	8.89	8.80	8.71	8.64	8.53	8.40	8.26	8.64 m/s
06/5/6 田野中 輔	+1.2	13.72s	8.80m/s	dt 1.59s							
	2.45	3.53	4.60	5.65	6.70	7.77	8.85	9.93	11.03	12.13	13.72 s
	5.60	8.45	8.59	8.72	8.64	8.56	8.48	8.43	8.32	8.35	8.80 m/s
S	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	G

図4. 大阪グランプリ男子110Hにおける上位3例のハードル間スピード変化と区間のスピード、ハードル通過時のタイム

らう。

2. 男子110ハードル

大阪グランプリ男子110Hにおける上位3例のハードル間スピード変化と区間のスピード、ハードル通過時のタイムを図4に示した。中国のLiuが13.22sec、最大スピードは9.1m/sec、2位の内藤は13.64secと8.9m/sec、3位田野中は13.72secと8.7m/secであり、最大スピードは3者ともに3台目から4台目までの区間の値であった。スピード曲線を見ると、Liuは1台目から2台目の8.7m/secから3台目から4台目までの9.1m/secまで0.4m/secスピードを上げるとともに、9台目まで最初のハードル間のスピード以上の速さであった。一方、内藤は8.6m/secから8.9m/secまで0.3m/secスピードを上げたが、7台目以降は最初の1台目から2台目までのスピードよりも低くなっていた。田野中においても、ほぼ同様の傾向であった。このような比較により、Liuはハードルのインターバル間が速いだけではなく、その持続区間も長いことが示された。

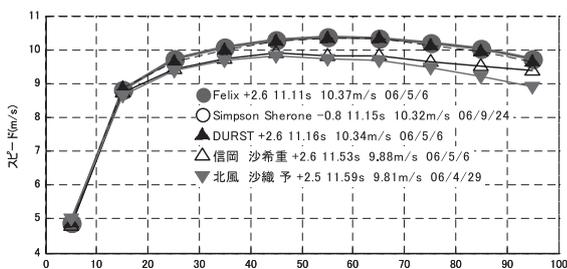
ハードル競技の場合、通常的にはハードルを越えてからの着地のタイムをタッチダウンタイムとして分析されている。本報告では、ハードル通過のラップタイムとした。そのため、計測しているタイミングが多少異なる。しかしながら、レーザー方式による計測の即時性を考慮すると、今後の活用が期待で

きるであろう。また、途中のラップタイムの算出できることから、トレーニングの指標となるような指標も算出できるであろう。

3. 女子100m

女子の100mにおける本年度レーザ方式で計測した記録の上位5レースのスピード変化を示したものが図5である。上位3レースは海外選手でタイムと最大スピードはFleixの11.11secと10.4m/sec, Sheroneの11.15secと10.3m/sec, Durstの11.16secと10.3m/secであった。最大スピードの到達区間は3名ともに50mから60mであった。日本人では、信岡の11.53secと9.9m/sec, 北風の11.59secと9.8m/secであった。最大スピード到達区間は2者ともに40mから50mであった。

ラップタイムをみると北風は30m付近までは、海外の3選手とほぼ同じような値であった。そのあとのスピード変化を見ると、最大スピードは海外選手よりも0.5m/sec低く、また、ゴールまへのスピード低下も大きかった。最大スピードの差である0.5m/secは1秒間で50cm, 2秒で1mの差がついていくほどのスピードの差である。レースの後半50mをこのスピードの差でいくと2.5mの差になり、タイムに換算すると0.25秒ほどになる。これらのことは、100mレースでは、加速性の向上やゴール前の区間のスピード維持よりも、最大スピードを高めること



ラップタイム(上段)と区間スピード(下段)表 DB:w100mDB070506LD.mat

0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
06/5/6 Felix +2.6 11.11s 10.37m/s dt 0.12s										
2.04	3.18	4.20	5.20	6.17	7.14	8.10	9.08	10.08	11.11	s
4.90	8.81	9.74	10.06	10.28	10.37	10.33	10.21	10.03	9.71	m/s
06/9/24 Simpson Sherone -0.8 11.15s 10.32m/s dt 0.11s										
2.07	3.19	4.23	5.22	6.20	7.17	8.14	9.13	10.13	11.15	s
4.84	8.88	9.62	10.09	10.26	10.32	10.25	10.17	9.96	9.81	m/s
06/5/6 DURST +2.6 11.16s 10.34m/s dt 0.13s										
2.05	3.18	4.22	5.22	6.19	7.16	8.13	9.12	10.12	11.16	s
4.88	8.85	9.66	9.98	10.26	10.34	10.31	10.12	9.94	9.65	m/s
06/5/6 信岡 沙希重 +2.6 11.53s 9.88m/s dt 0.13s										
2.09	3.24	4.30	5.33	6.34	7.36	8.37	9.41	10.46	11.53	s
4.78	8.71	9.44	9.73	9.88	9.83	9.82	9.65	9.51	9.37	m/s
06/4/29 北風 沙織 予 +2.5 11.59s 9.81m/s dt 0.23s										
1.99	3.15	4.21	5.25	6.27	7.29	8.33	9.38	10.47	11.59	s
5.02	8.66	9.37	9.69	9.81	9.74	9.67	9.48	9.20	8.92	m/s
0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m

図5. 本年度、計測した女子100mの上位5レースのスピード変化およびラップタイムと区間スピード

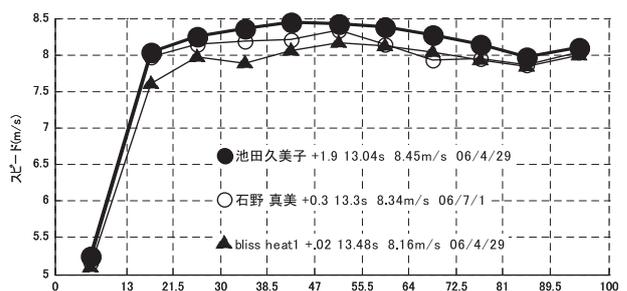
の重要性を示す結果であろう。競技力向上のためには、加速過程やゴール前のスピード低下の工夫よりも、40mから50mでの4歩から5歩のなかで、さらに0.5m/secのスピード向上の工夫であろうことが示唆される結果であった。

4. 女子100mハードルのハードル間スピード

本年度、女子100mハードルにおいてレーザ方式で計測した記録の上位3レースのハードル間スピード変化とラップタイムをみたものが図6である。ゴールタイムと最大スピードをみると池田は13.04secと8.5m/sec, 石野は13.30secと8.2m/sec, Blissは予選であったが、13.48secと8.1m/secであった。男子の110mHと同様にここでのラップタイムはハードル通過時間であり、タッチダウンタイムとは異なる。池田の例は織田記念でだが、このレースでトップはBlissの12.97secであったが、ゴールまで追従できなかったのは残念であった。ハードル間スピードでみると1台目から2台目までのスピードよりも低くなるのは池田では9台目以降であり、高いスピードが後半も維持されている。

5. スピードとパフォーマンス

レーザ方式による男女100mのスピード分析データについて2004年度から2006年度までの男子80例、女子80例のデータを対象として、区間最大スピードとゴールタイムとの関係をみたものが図7である。男女別に相関関係をみると両群ともに統計的に有意な高い相関関係が認められた。この結果は、従来の



ラップタイム(上段)と区間スピード(下段)表 DB:w100HDB070506LD.mat

S	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	G
06/4/29 池田久美子 +1.9 13.04s 8.45m/s dt 0.36s											
2.47	3.53	4.56	5.58	6.58	7.59	8.61	9.63	10.68	11.74	13.04	s
5.26	8.03	8.24	8.37	8.45	8.43	8.38	8.28	8.15	7.96	8.10	m/s
06/7/1 石野 真美 +0.3 13.3s 8.34m/s dt 0.60s											
2.52	3.59	4.63	5.67	6.70	7.72	8.77	9.84	10.91	11.99	13.30	s
5.16	7.98	8.15	8.19	8.21	8.34	8.13	7.93	7.94	7.86	8.04	m/s
06/4/29 bliss heat1 +0.2 13.48s 8.16m/s dt 0.49s											
2.55	3.66	4.73	5.81	6.86	7.91	8.95	10.01	11.08	12.17	13.48	s
5.10	7.61	7.97	7.87	8.06	8.16	8.12	8.05	7.92	7.84	7.99	m/s
S	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	G

図6. 本年度、計測した女子100mHの上位3レースのハードル間スピードの変化とラップタイム

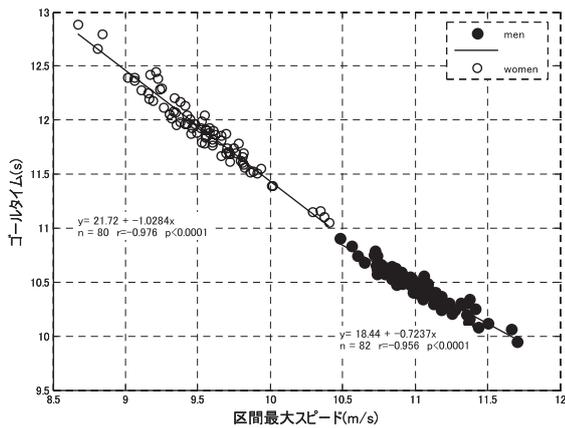


図7. 区間最大スピードとゴールタイムとの関係。データは2004年度から2006年度までのレーザ方式により計測した男女100mレース男子80例、女子82例である。

報告と一致するものである(阿江, 1994, 松尾, 2004,)。すなわち, 100mのゴールタイムはおおむねレース中の最大スピードでほぼ決まってくることを意味している。

同じデータから, 30mと50mのラップタイムとゴールタイムの関係をみたものが図8である。両ラップタイムともに男女別にみてもゴールタイムと統計的に有意な相関関係が認められている。30mよりも50mのほうがより高い相関係数を示しているが, これは, 50mのほうがゴールタイムに近いためであろう。

両群の回帰式ともに相関係数が高いことから, ラップタイムからゴールタイムを推定することが可能であろう。たとえば, 男子で30mダッシュの記録が4.00secとすると回帰式からゴールタイムを推定すると10.53secとなる。このとき, ゴールタイムが10.53secよりも速い場合には, 最大スピードが高いことや後半のスピード逓減が少ないことが考えられる。逆に, 10.53secよりも遅い場合には, 最大スピードが低いことが考えられる。この場合には, 加速過程よりも最大スピードの向上が求められる。また, 50mダッシュが5.80secとするとゴールタイムの推定値は10.42secとなる。この場合もゴールタイムが10.42secを基準にして遅い場合には, 最大スピードを高めることが課題のひとつなるだろう。このように分析データをもとにしたラップタイムとゴールタイムの関係から, 目標とするゴールタイム, スタートダッシュの目標タイムの設定やレースの各局面での評価にも使うことが可能であろう。今後ともにレーザ方式によるラップタイム分析を継続するとともに計測データをデータベース化していくこと

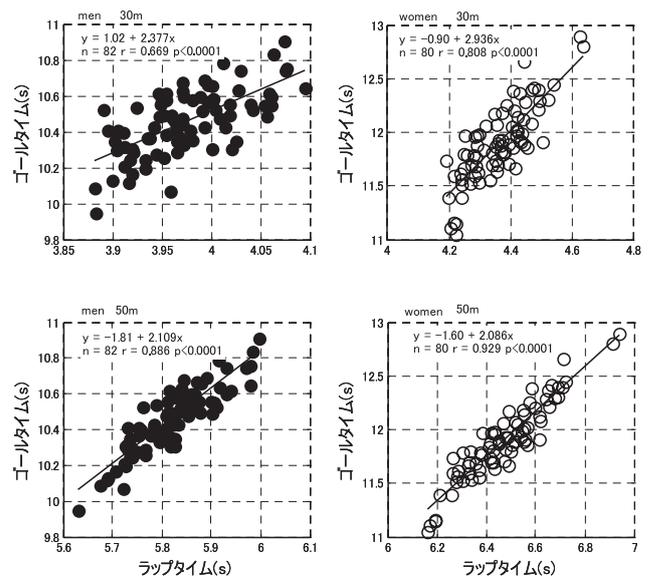


図8. 30mと50mのラップタイムとゴールタイムの関係。データは図7と同じである。

で, より信頼性のある推定式が提供できるようになるであろう。特に2007年の世界陸上で得られるレース中の海外のスプリンターのデータは世界的なスプリントレースの基準値ともいえる資料となるであろう。

まとめ

レーザ方式による短距離およびハードルの測定を行ってきた。本年度は, スピード曲線だけではなく, ラップタイムの分析も試みた。この試みにより, 別のレースでの比較がスピード曲線だけではなく, ラップタイムで10mごとの通過時間での比較が容易になるであろう。今後は, このような解析の即時性を高めることで, ビデオ方式よりも即時的なデータフィードバックが可能であろう。また, レーザ方式では選手の背中にレーザを向けて計測するため, 測定装置の設置場所によっては計測が困難な場合がある。これを解決するためには, 追従のテクニックを向上させること, あるいは, 測定装置そのものをトラックレベルに設置することの2つが解決策として考えられる。いずれにしても, レーザ方式の即時性を生かすためにも, 継続的にデータを蓄積し, コンピュータを活用したデータ解析のシステムの開発が必要であろう。

文献

1. 阿江通良, 鈴木美佐緒, 宮西智久, 岡田英

- 孝, 平野敬靖, 世界一流スプリンターの100mレースパターン分析?男子を中心に?, 世界一流陸上競技者の技術, ベースボール・マガジン社, 東京, 14-28, 1994
2. 広川龍太郎, 杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良, 金子太郎, 高野進, ”末續慎吾”の100m走中の疾走速度分析, 陸上競技研究紀要, 1, 108-110, 2005
 3. 広川龍太郎, 杉田正明, 松尾彰文, 金子太郎, 国内GPにて収集した外国人選手の疾走速度分析, 陸上競技研究紀要, 2, 90-91, 2005
 4. 金高宏文, レーザ速度測定器を用いた疾走速度測定におけるデータ処理の検討, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 22, 99-108, 1999.
 5. 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明, 阿江通良, レーザー方式スピード測定装置による100mのラップタイム分析, トレーニング科学会, 発表資料, 2007
 6. 松尾彰文, 持田尚, 杉田正明, インターハイ男子100mのラップタイムとスピード変化, 日本陸連科学委員会研究報告, 3 (1), 9-18, 2004
 7. 松尾彰文, 金高宏文, レーザー方式による経時的疾走速度の計測, 51 (8), 2001.
 8. 松尾彰文, 杉田正明, インターハイおよびTOTOスーパー陸上の100m疾走スピード, 平成5年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告, NoII 競技種目別競技力向上に関する研究, 17, 160-162, 1993.
 9. 杉田正明, 広川龍太郎, 阿江通良, 日本選手権の男女100m走中のスピード分析, 日本陸連科学委員会研究報告, 3 (1), 19-23, 2004
 10. 杉田正明, 加藤謙一, 阿江通良, 松垣紀子, 小林寛道, '96TOTOスーパー陸上の100m走中の疾走スピード, 平成8年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告, NoII 競技種目別競技力向上に関する研究, 20, 273-277, 1997