

様々な高精度衛星測位サービスの検証と利活用方法の検討

小林 義則・磯部 浩平（株式会社パスコ）

1. はじめに

測位衛星を用いた高精度測位に対するニーズの多様化により、近年では様々な補正サービスが提供され、公共測量への利用だけでなく、建設・農業・自動運転等へも利活用領域が拡大している。しかし、多様な高精度測位サービスが存在する一方で、それぞれの技術的特性、精度、運用条件、適用可能な用途は大きく異なっている。そのため、ユーザーが目的に応じて最適な選択するためには、各技術・サービスの比較検証が不可欠である。本稿では、複数の高精度測位技術を対象として、実際の計測結果に基づいた比較検証を行った。この検証結果をふまえ、衛星測位分野における各高精度測位サービスの利活用用途について、海外での利用も含めて考察することを目的とした。

2. 検証対象

2.1 検証対象とする高精度測位技術の概要

本稿では、RTK方式、PPP方式、PPP-RTK方式等、異なる測位手法を採用し、かつ高精度測位サービスとして広く普及している以下の5種類の高精度測位技術を検証対象とした。各技術・サービスの概要を下記の表1のとおり整理する。

2.2 各技術・サービスの特長と留意点

電子基準点を利用したNRTK、RTK基準局、GEODNETの各方式は、いずれも運用時にインターネット通信を必要とする。一方、CLASおよびMADDOCA-PPPはインターネット通信を必要としないものの、これらの信号に対応した受信機を準備する必要がある。さらに、MADDOCA-PPP

表1 検証対象とする技術・サービスの概要

#	技術・サービス	概要
1	電子基準点を利用したネットワークRTK (NRTK)	国土地理院が運用するGNSS連続観測システム (GEONET System : GNSS Earth Observation Network System) の電子基準点網を使用したNetwork型RTKの補正サービスである。日本全国1,300か所に設置された電子基準点の座標値を用い、それら複数の基準局の情報から補正して位置を求める。(今回の検証では、(株) ジェノバのサービスを活用した)
2	RTK基準局	自分でRTK基準局(座標は別途測量)を設け、基準局と移動局の2台のGNSS受信機を使用して位置を求める。基準局の補正情報を移動局へ送信し、移動局側で補正を適用することで高精度な位置を算出する。
3	GEODNET	世界18,000か所以上(2025年7月現在)に展開される私設のRTK基準局を使用した商用の補正サービスであり、複数のブロックチェーン関連企業から投資を受けたWEBプロジェクトである。ブロックチェーン技術を用いた分散型物理インフラネットワーク (DePIN) の一つとして、個人宅の屋上等にGNSS基準局(簡易なCORS)を設置し、そのデータを使って国境を越えたcm級のリアルタイムGNSS測位サービス(RTK方式)を提供する。設置者には、データ品質、稼働率、設置場所等に応じて仮想通貨の報酬が与えられる。
4	CLAS	PPP-RTK (Precise Point Positioning -RTK) に分類される「みちびき」によるセンチメートル級測位補強サービスである。測位精度は6cm (水平精度) であり、初期化時間1分でFIX解が得られる。国土地理院の電子基準点網を使用しており、サービス対象地域は日本全土とその沿岸地域に限られる。
5	MADDOCA-PPP	PPP (Precise Point Positioning ; 精密単独測位) に分類される「みちびき」によるデシメートル級測位補強サービスである。MADDOCAが生成する補強信号を使ったPPP測位であり、測位精度30cm (水平方向)、初期化時間は30分程度とされる。PPPは電子基準点等の基準局の座標値を参照せず、単一のGNSS受信機のみで位置を計測する手法であり、サービスの対象はアジア・オセアニア地域向けである。

* 上記のNRTKは、仮想基準局を生成することによって位置を取得するVRS (Virtual Reference Station)方式を採用している。

表2 各技術・サービスの特長

#	技術・サービス名称	測位手法	基準座標系	料金(月)
1	電子基準点を利用したNRTK	Network-RTK	測地成果2011	24,000円
2	RTK基準局	RTK	セミ・ダイナミック補正で測地成果2011に変換	無償 (別途基準局の設置が必要)
3	GEODNET	RTK	ITRF系と思われるが、元期は不明 (今期とみなし、測地成果2011に変換)	約6,000円 (40ドル)
4	CLAS	PPP-RTK	セミ・ダイナミック補正で測地成果2011に変換	無償
5	MADOCA-PPP	PPP	セミ・ダイナミック補正で測地成果2011に変換	無償

#	技術・サービス名称	インターネット通信	対応受信機	収束までの時間
1	電子基準点を利用したNRTK	必要	一般的なGNSS受信機	15秒～30秒
2	RTK基準局	必要	一般的なGNSS受信機	10秒～20秒
3	GEODNET	必要	一般的なGNSS受信機	15秒～20秒
4	CLAS	不要	CLAS対応受信機(L6信号対応)	45秒～120秒
5	MADOCA-PPP	不要	MADOCA-PPP対応受信機(L6E信号対応)	1,800秒(30分)

は他の技術・サービスと比較して測位精度が収束するまでの時間が長いことが知られており、一般に約1,800秒を要するとされている。本稿では、この収束時間に関する検証結果についても後述する。これら、各技術・サービスの特長について以下の表2のとおり整理した。

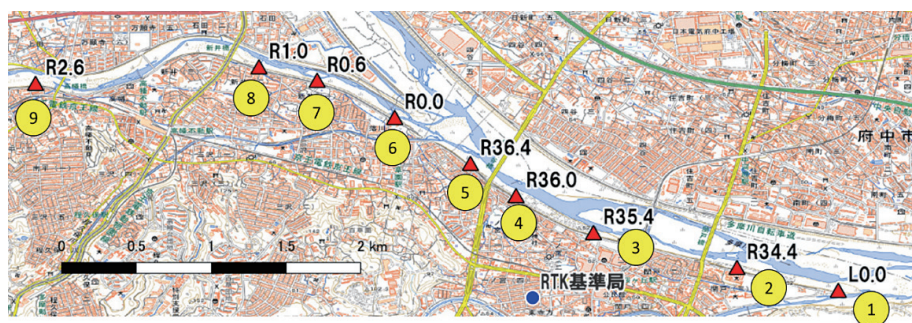
3. 計測の内容

3.1 検証サイトと計測手順

本検証では、東京都多摩市および日野市の多摩川沿いに設置された9点の公共基準点(3級基準点)を対象に、2025年1月から2月にかけて単点観測法による計測を実施した。本検証は数cmの誤差を持った計測方法を対象とし、各測位方法の比較検証を目的としているため、計測日の違いによる誤差は許容できることとした。計測機材



図1 計測時の様子



計測位置図 出典:地理院地図(電子国土WEB) 縮尺:1/25,000

図2 計測した9点の公共基準点(東京都多摩市、日野市における多摩川沿い)

はパスコのサービスである「Smart SOKURYO POLE」を使用した。本機材はGNSS受信機を内蔵し、GPS、QZSS、GLONASS、Galileo、BeiDouといった主要な衛星測位システムに対応している。なお、検証サイトの近傍に任意のRTK基準局を設置し、GEODNETは観測点に近い川崎（等々力緑地内：検証サイトから約20km）の基準局を用いた。各公共基準点において初期化を行った後、2回・10エポックの観測を実施し、得られた座標値を既知の公共測量

成果と比較した。高さは国土地理院のジオイドモデルを用いて楕円体高から標高を算出し、公共測量成果との差を求めた。

4. 計測と検証結果

4.1 各技術・サービスによる計測の結果

各点の計測結果を公共測量成果と比較し、水平と高さの較差から二乗平均平方根誤差（RMSE）を算出した。

表3 「電子基準点を利用したNRTK」の計測結果（計測日：2025年2月4日）

サービス名	No	点名	観測時間	X	Y	H	dxy	dh
電子基準点 を利用した NRTK	1	L0.0	2025-02-04T10:02:17.124+09:00	-33395.12760880000	-38807.29494900000	50.8110	0.0114	0.0000
	2	R34.4	2025-02-04T10:10:57.000+09:00	-34071.02630020000	-38621.84826230000	52.6600	0.0369	-0.0110
	3	R35.4	2025-02-04T10:26:00.750+09:00	-35028.61266720000	-38336.87690180000	55.7230	0.0626	0.0340
	4	R36.0	2025-02-04T10:34:27.750+09:00	-35544.00365910000	-38038.38585580000	58.0790	0.0275	0.0160
	5	R36.4	2025-02-04T10:47:20.000+09:00	-35847.92350360000	-37778.43556640000	58.8770	0.0085	0.0270
	6	R0.0	2025-02-04T10:56:23.125+09:00	-36352.06144360000	-37406.72990160000	61.2520	0.0346	0.0150
	7	R0.6	2025-02-04T11:12:07.625+09:00	-36868.83847020000	-37106.32185540000	63.2880	0.0398	0.0080
	8	R1.0	2025-02-04T11:18:10.624+09:00	-37256.69290670000	-36995.98195860000	65.0890	0.0406	0.0870
	9	R2.6	2025-02-04T11:35:11.250+09:00	-38749.27684880000	-37122.61457220000	72.0430	0.0148	-0.0050
※各点で初期化、初期化の時間は15秒から30秒							0.037	0.036

表4 「RTK基準局」の計測結果（計測日：2025年1月31日）

サービス名	No	点名	観測時間	X	Y	H	dxy	dh
仮設の 基準局	1	L0.0	2025-01-31T14:39:26.000+09:00	-33395.11952780000	-38807.31328500000	50.7850	0.0091	0.0260
	2	R34.4	2025-01-31T14:31:34.000+09:00	-34071.03830360000	-38621.81415660000	52.6370	0.0343	0.0120
	3	R35.4	2025-01-31T14:20:27.000+09:00	-35028.63020070000	-38336.86851200000	55.7450	0.0799	0.0120
	4	R36.0	2025-01-31T14:12:51.000+09:00	-35543.98458070000	-38038.39258870000	58.1310	0.0454	-0.0360
	5	R36.4	2025-01-31T12:39:43.000+09:00	-35847.88586310000	-37778.44193100000	58.8510	0.0441	0.0530
	6	R0.0	2025-01-31T12:54:52.000+09:00	-36352.03170980000	-37406.72092570000	61.2670	0.0647	0.0000
	7	R0.6	2025-01-31T13:05:46.000+09:00	-36868.83546780000	-37106.34017360000	63.3040	0.0523	-0.0080
	8	R1.0	2025-01-31T13:18:46.000+09:00	-37256.67953130000	-36995.98767270000	65.0840	0.0551	0.0920
	9	R2.6	2025-01-31T13:48:16.000+09:00	-38749.30796770000	-37122.58781000000	72.0200	0.0498	0.0180
※各点で初期化、初期化の時間は10秒から20秒							0.055	0.042

表5 「GEODNET」の計測結果（計測日：2025年2月4日）

サービス名	No	点名	観測時間	X	Y	H	dxy	dh
GEODNET	1	L0.0	2025-02-04T09:59:06.124+09:00	-33395.15042320000	-38807.31771780000	50.8560	0.0280	-0.0450
	2	R34.4	2025-02-04T10:12:56.874+09:00	-34071.06950670000	-38621.78075400000	52.7380	0.0587	-0.0890
	3	R35.4	2025-02-04T10:24:04.124+09:00	-35028.68110210000	-38336.80274370000	55.7690	0.1630	-0.0120
	4	R36.0	2025-02-04T10:36:43.374+09:00	-35544.04934940000	-38038.33164350000	58.2330	0.0436	-0.1380
	5	R36.4	2025-02-04T10:44:57.000+09:00	-35847.96603340000	-37778.38424980000	58.9120	0.0672	-0.0080
	6	R0.0	2025-02-04T10:58:24.250+09:00	-36352.12393120000	-37406.71145140000	61.2950	0.0325	-0.0280
	7	R0.6	2025-02-04T11:09:50.499+09:00	-36868.90346720000	-37106.31981090000	63.3100	0.0316	-0.0140
	8	R1.0	2025-02-04T11:20:21.375+09:00	-37256.76502260000	-36996.01538370000	65.1830	0.0553	-0.0070
	9	R2.6	2025-02-04T11:33:02.499+09:00	-38749.32217760000	-37122.62835390000	72.1120	0.0422	-0.0740
※各点で初期化、初期化の時間は15秒から20秒							0.074	0.067

表6 「CLAS」の計測結果(計測日:2025年1月31日)

サービス名	No	点名	観測時間	X	Y	H	dxy	dh
CLAS	1	L0.0	2025-01-31T10:02:06.000+09:00	-33395.06807390000	-38807.28396700000	50.9670	0.0610	-0.1560
	2	R34.4	2025-01-31T10:15:48.500+09:00	-34071.01443390000	-38621.84719830000	52.6320	0.0483	0.0170
	3	R35.4	2025-01-31T10:32:03.500+09:00	-35028.60981130000	-38336.86448730000	55.6720	0.0719	0.0850
	4	R36.0	2025-01-31T10:40:45.249+09:00	-35543.99325560000	-38038.34285100000	58.0230	0.0327	0.0720
	5	R36.4	2025-01-31T12:36:07.249+09:00	-35847.89759850000	-37778.45564080000	58.8630	0.0356	0.0410
	6	R0.0	2025-01-31T12:52:00.000+09:00	-36352.08766000000	-37406.76440920000	61.2270	0.0374	0.0400
	7	R0.6	2025-01-31T13:08:29.749+09:00	-36868.85940730000	-37106.32742680000	63.3440	0.0265	-0.0480
	8	R1.0	2025-01-31T13:16:12.500+09:00	-37256.68373340000	-36995.97500750000	65.2410	0.0484	-0.0650
	9	R2.6	2025-01-31T13:46:15.749+09:00	-38749.30702590000	-37122.60023990000	72.1660	0.0395	-0.1280
※各点で初期化、初期化の時間は45秒から2分							0.049	0.089

表7 「MADOCA-PPP」の計測結果(計測日:2025年2月18日)

サービス名	No	点名	観測時間	X	Y	H	dxy	dh
MADOCA-PPP	1	L0.0	2025-02-18T16:23:29.000+09:00	-33397.10074720000	-38807.23995160000	48.9260	1.9769	1.8850
	2	R34.4	2025-02-18T15:46:32.000+09:00	-34072.18850550000	-38621.84104010000	52.3480	1.1265	0.3010
	3	R35.4	2025-02-18T15:09:01.000+09:00	-35029.30601910000	-38337.89363770000	55.1800	1.2085	0.5770
	4	R36.0	2025-02-18T14:28:47.000+09:00	-35545.54999260000	-38038.63185580000	56.7900	1.5544	1.3050
	5	R36.4	2025-02-18T13:53:40.000+09:00	-35848.79903760000	-37779.30661290000	57.7920	1.2266	1.1120
	6	R0.0	2025-02-18T11:46:21.000+09:00	-36352.39924580000	-37406.48566420000	59.7660	0.3882	1.5010
	7	R0.6	2025-02-18T11:10:14.000+09:00	-36869.07959350000	-37106.15277520000	62.5550	0.2556	0.7410
	8	R1.0	2025-02-18T10:25:45.000+09:00	-37256.77729280000	-36995.78900530000	64.1450	0.1875	1.0310
	9	R2.6	2025-02-18T09:44:55.000+09:00	-38749.19196480000	-37122.60295990000	70.6000	0.0918	1.4380
※各点で初期化、初期化の時間は30分							0.664	1.339

4.2 検証のまとめ

計測結果を総合的に分析したところ、「電子基準点を利用したNRTK」が最も高精度であり、水平・高さともに数センチメートル以内に収束した。「RTK基準局」もNRTKに次ぐ精度結果となった。「GEODNET」はRTK基準局よりも精度が低下したが、それでも7cm程度の誤差に収まり、数cmの精度を求めない測位においては問題のない精度を示した。「CLAS」は水平精度が良好であったが、高さ精度にばらつきが見られた。「MADOCA-PPP」は初期化時間を30分確保しても精度が収束せず、30分後に収束す

る精度として一般的に示されている30cm(水平)の精度とならなかった。

4.3 MADOCA-PPPに関する追加検証

30分の初期化時間を設けても精度が想定内とならなかったため、平面誤差の収束に関する追加検証を実施した。追加検証の結果、誤差が安定するまでに約90分、10cm以内に収束するまでに約6時間を要することが確認された。PPP方式は基準局を必要としない利点がある一方で、短時間観測には不向きであることが明らかとなった。

表8 各計測結果(表3~7におけるdxy, dhのRMSE)のまとめ

#	技術・サービス名称	dxy(単位:m)	dh(単位:m)	初期化時間	基地局からの距離
1	電子基準点を利用したNRTK	0.037	0.036	15~30秒	数m(VRS)
2	RTK基準局	0.055	0.042	10~20秒	1km~3km
3	GEODNET	0.074	0.067	15~20秒	20km
4	CLAS	0.049	0.089	45~120秒	-
5	MADOCA-PPP	0.664	1.339	1,800秒(30分)	-

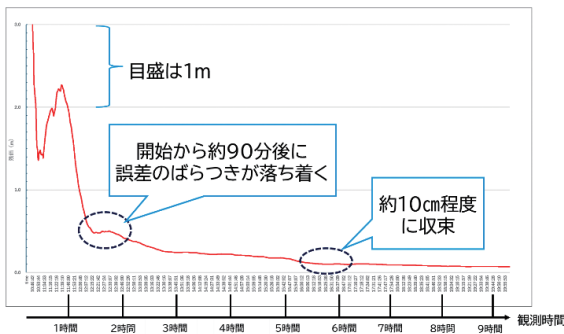


図3 MADOCA-PPPに関する追加検証結果

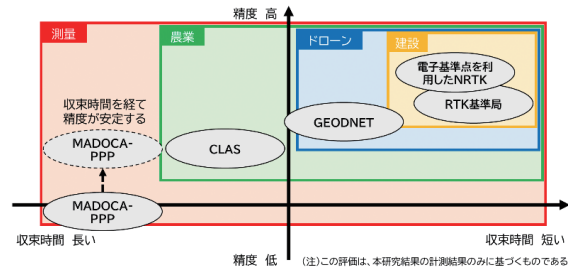


図4 利活用分野の検討

5. 高精度測位情報の適用可能性

5.1 利活用領域に関する整理

近年、ICT建機や農機の自動走行、ドローンによる測量など、高精度測位情報活用する産業が急速に拡大している。ここでは、建設、農業、測量、ドローンへの利活用を想定し、検証結果をふまえて、各領域における適用可能性を検討した。図4のとおり、最も幅広い可能性を示すのは、5つの技術・サービスの中で精度、収束時間共に良い結果が得られた「電子基準点を利用したNRTK」と「RTK基準局」であった。分野別にみると、機材を正確かつリアルタイムで稼働させるため、建設分野において高い精度と短い収束時間が最も要求される。したがって、検証結果をふまえ「電子基準点を利用したNRTK」や「RTK基準局」が適正であると考えられる。また、ドローンも運用上の安全性の観点から、同様に「電子基準点を利用したNRTK」や「RTK基準局」、さらには「GEODNET」ま

での活用が推奨される。そして、山間部などの通信制約のある農業地域での活用も想定し、ネット環境が不要である「CLAS」も農業分野では選択肢として検討できる。測量分野に関して、公共測量では「NRTK (国土地理院の電子基準点を利用したサービス事業者)」を利用する必要があるが、それ以外の測量については求められる精度に応じた使い分けが可能である。ただし「MADOCA-PPP」は精度の収束に時間を要するため、リアルタイム性を伴わない用途への活用が適切である。

5.2 海外で利用する場合の留意点

海外で高精度測位を活用する場面では、対象国において日本のGEONET Systemと同様の基準点網が存在しているかどうかを確認することが重要である。具体的には、電子基準点網が存在する国(例えばタイをはじめとした東南アジア諸国の一部)においてはその利用が第一選択となり、存在しない場合は他のサービス

表9 海外利用の可否と留意点

#	技術・サービス名称	海外利用	留意すべき点
1	電子基準点を利用したNRTK	要確認	・インターネットの接続環境が必要 ・日本のGEONET Systemと同様に、当該国に電子基準点網があれば利用は可能である
2	RTK基準局	可	・インターネットの接続環境が必要 ・RTK基準局を設置する場所やその許認可が必要か確認する
3	GEODNET	可	・インターネットの接続環境が必要 ・GEODNETの基準局が当該国に設置されていることを確認する ・サービス利用は有償となるため、使用者における費用負担が発生する
4	CLAS	不可	・日本を対象とした補正サービスのため、対象としない
5	MADOCA-PPP	可	・精度の収束に時間を要することをふまえ、技術サービスの適用用途を精査する ・MADOCA-PPP対応の受信機が必要となるため、専用機材を準備する ・サービスの対象はアジア・オセアニア地域に限定される

やRTK基準局の設置を検討する。加えて、計測時のインターネット接続環境、資機材の調達可否、任意の場所における計測許可の取得等、利用時の条件面に様々な制約が生じることも想定される。これらの諸条件をふまえ、以下の表9のとおり、5種類の高精度測位サービスにおける海外利用の可否と留意点を整理した。必要な精度やこれらの点を考慮しながら、その国での計測に最も適した技術・サービスを選択することが求められる。

6. 結論と考察

6.1 検証のまとめ

本稿では、5種類の高精度測位サービスを公共基準点で比較検証し、精度差の傾向を明らかにした。その結果、「電子基準点を利用したNRTK」は最も高精度であり、公共測量のほか、幅広い利用に適していることが確認された。「RTK基準局」や「GEODNET」の基準局は低価格なGNSS受信機でも運用が可能であり、「GEODNET」の基準局は世界中に広く設置が進んでいることから、日本だけではなく海外での利活用も検討できる。「CLAS」は国内向けサービスであるが、無償かつ通信環境に左右されないことが利点である。「MADOCA-PPP」は初期化の時間が長いものの、誤差が収束すれば10cm以内の精度を満たすため、例えば郊外の通信環境が脆弱な地域においてRTK基準局の座標決定に利用する等の活用方法が考えられる。

6.2 高精度測位の利活用促進に係る考察

高精度測位を国内外で実施する際には、精度面や条件面から各技術・サービスを体系的に整理し、適切なものを選択することの重要性について述べた。さらに、本稿では高精度測位技術の利活用領域として建設、農業、測量、ドローンを挙げ、サービス毎の特性をふまえた

各利活用領域への適用可能性についても検討した。高精度測位技術が社会に浸透していくことで、建設や農業分野であれば自動運転の建機/農機を導入した生産性の強化、測量分野であれば様々なサイト環境に適した迅速かつ高精度な位置情報の取得、ドローンであれば、これを活用した新たな物流体制の構築やデータ取得ビジネスの展開など、高精度測位技術の適用領域には将来的に大きな可能性がある。この点、多様な選択肢がある日本においては、計測に必要な精度や計測サイトの環境を鑑み、適用技術を選ぶことが望ましい。

一方、海外においては対象国毎に異なる諸条件をふまえ、活用方法を検討していくことが求められる。例えば、「MADOCA-PPP」のカバー領域である東南アジアにて、山間部やインフラが未整備な遠隔地等、インターネット環境が脆弱な地域を対象とした計測においては、精度の収束に時間を要するものの、「MADOCA-PPP」が有用な選択肢となり得る。また、アフリカ諸国等で電子基準点網が未整備な国を対象とする場合、世界中で展開されている「GEODNET」等の民間の配信サービスを利用したり、低価格なGNSS受信機を使用したRTK基準局を設置したりすることにより、従来の測量方法よりもコストメリットが得られる可能性もある。加えて、開発途上国におけるJICA等のODAプロジェクトで高精度測位を活用する場合、当該国の測量機関関係者に対して計測手法の技術移転を伴う場合がある。この際、測量機関関係者がプロジェクト完了後も継続的に高精度測位を行い、対象国において同技術の定着を図っていくためには、当該国側における予算確保の事情を考慮しながら、適切な方法を提案していくことも肝要である。

最後に、今回検証した5つのサービスを含む高精度測位技術については、当該技術の革新、あるいは新たな測位サービスの出現など、本領

域の発展と共に環境は大きく変化していくことも想定される。よって、本稿で実施した精度の検証や利活用検討は定期的の実施され、常に結果をアップデートしていくことが極めて重要であると考ええる。

■参考文献・参考URL

(最終アクセス日：2025年12月25日)

1) 内閣府ホームページ

- ・センチメートル級測位補強サービス
https://qzss.go.jp/overview/services/sv06_clas.html
- ・高精度測位補強サービス「MADOCA-PPP」
https://qzss.go.jp/overview/services/sv13_madoca.html

2) GEODNETホームページ

<https://console.geodnet.com/map>

3) 国土地理院 地理院地図/GSI Maps

<https://maps.gsi.go.jp/>

■執筆者

小林 義則 (こばやし よしのり)

株式会社パスコ

海外事業部 技術部 技術課

Email:

yiohss2740@pasco.co.jp



(共著者)

磯部 浩平 (いそべ こうへい)

株式会社パスコ 海外事業部 技術部 技術課

Email: keobho2617@pasco.co.jp