

除雪機械の高度化を目指した 産学官民連携の取り組み

i-Snow

国土交通省 北海道開発局 建設部 道路維持課
事業振興部 機械課

1. はじめに

国土交通省 北海道開発局（以下、「当局」という）は、北海道内の直轄国道46路線、約6,900 kmの除排雪作業を行い、安心・安全な冬期道路交通の確保を担っている。

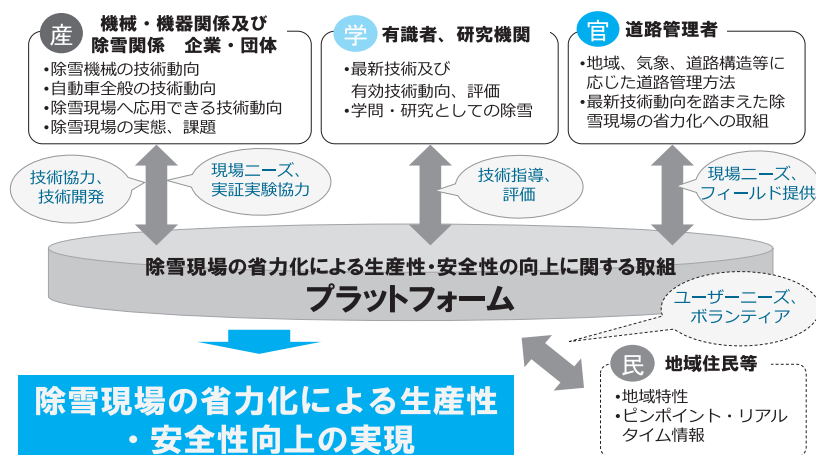
積雪寒冷地域特有の冬期災害が発生する北海道では、大雪や暴風雪などの影響による国道の冬期間の通行止めが多く発生している。また、広域分散型の社会を形成している北海道では、冬期交通障害が発生した場合、住民生活・地域産業・経済活動への影響が非常に大きい。

一方、近年は除雪機械オペレータの担い手減少や高齢化が懸念されており、除雪サービスの水準を維持するためには、除雪作業のさらなる効率化が喫緊の課題である。

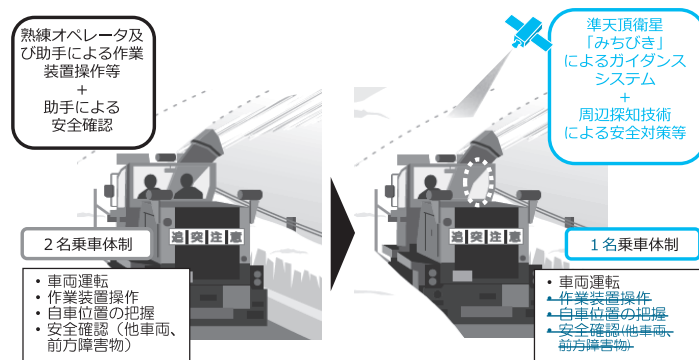
このような積雪寒冷地域特有の課題を踏まえ、平成29年3月に、持続可能な道路除雪に向けた取り組みとして、産学官民が幅広く連携して取り組む「除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム（i-Snow）」を設立した（図－1）。

本プラットフォームにおいて、当局では除雪作業の省力化（図－2）として、ロータリ除雪車における「除雪機械操作の自動化」をはじめとした除雪機械の運転支援技術の開発に取り組んできた。

▼ i-Snow の活動イメージ



図－1 i-Snow プラットフォームの概念図



2. これまでの取り組み

「i-Snow」における取り組みは、「1名乗車（ワンマンオペレータ化：以下、「ワンオペ化」という）の実現」と「熟練のオペレータの技術・経験に左右されることなく、誰でも一定の安全性・精度で除雪機械の操作を可能とすること」を目的に、さまざまなフィールドで実証実験を行い実働配備している。

当局で行っている除雪機械操作の自動化技術を中心に、これまでの取り組みと現在の状況について次に示す。

(1) 除雪機械操作の自動化技術

① ロータリ除雪車の実証実験と実働配備

準天頂衛星「みちびき」(以下、「みちびき」という)と高精度3Dマップデータによる情報通信技術を活用した「運転支援ガイダンス(図-3)」と「投雪作業の自動化(図-4)」を併せたシステムなど、各種省力化技術を搭載した「i-Snow ロータリ除雪車」を開発した(図-5)。

実証実験は、平成30年度から令和元年度までは、一般交通もなく道路付属物の設置も少ない冬期通行止め区間内(一般国道334号知床峠)で行い、令和2年度から令和5年度までは一般交通があり、道路付属物の種類や数も多く設置されている一般道(一般国道38号狩勝峠)にて実施した。

その結果を受けて、自動制御システムの基本仕様を策定し、令和4年度より実働配備を開始し、

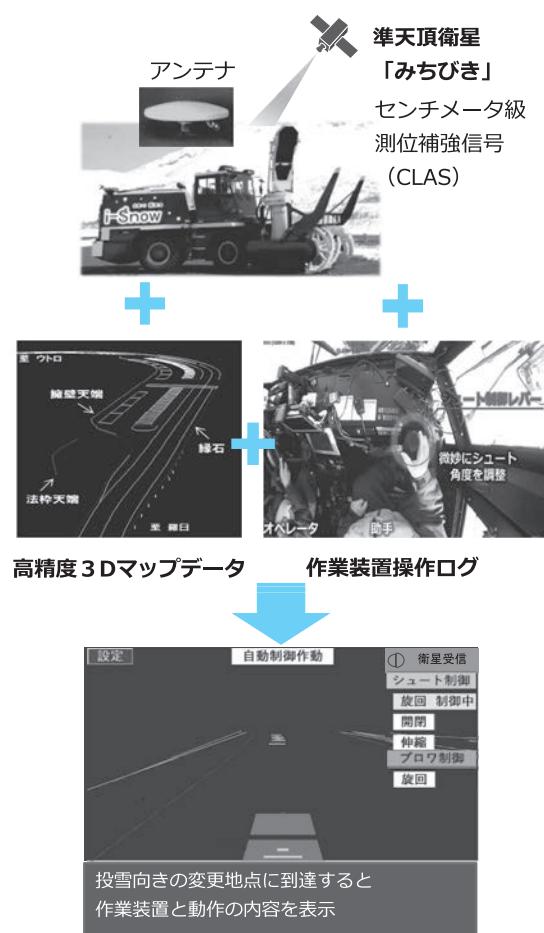


図-3 運転支援ガイダンスの仕組み

令和6年度よりフォローアップ段階に移行した。

② 自動制御システム基本仕様の概要

令和5年度の実証実験結果に基づく自動制御システムの基本仕様の概要は、次のとおりである。

【自動制御システム】

ロータリ除雪車には、除雪装置の動きを把握・制御するため油圧シリンダー等の位置を検出する

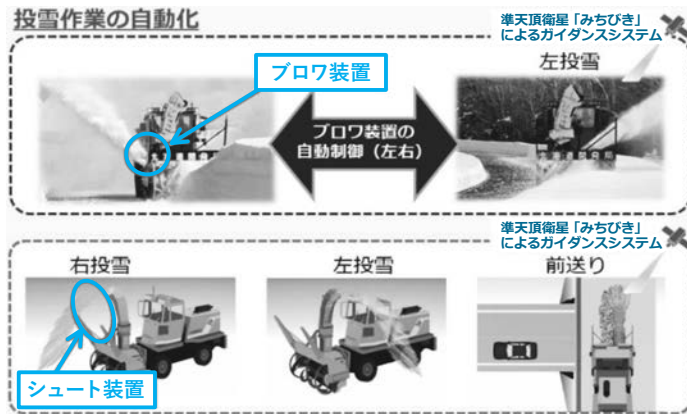


図-4 投雪作業の自動化範囲

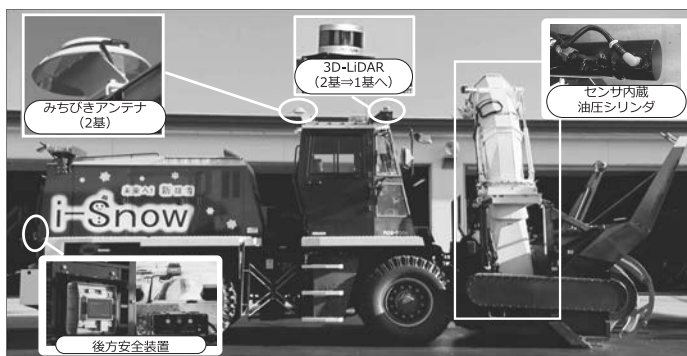


図-5 i-Snow ロータリ除雪車

a) 各種センサ、b) 準天頂衛星対応高精度測位装置 (写真-1) と高精度 3D マップデータを搭載した c) 自動制御用車載 PC (写真-2)、高精度自車位置と周辺状況、自動制御内容を表示する d) ガイダンス装置 (写真-3)、e) 周辺状況計測装置 (写真-4) を搭載しており、自車位置を把握しながら走行し、あらかじめ登録した投雪方向変化点でのブロウ旋回、シュート旋回・伸縮、シュートキャップ開閉の自動制御を可能としている。

また、ワンオペ化による周辺状況の安全対策として、f) 車両検知センサ (写真-5)、g) 人感検知センサ (写真-6) を搭載している。

さらに、熟練技術の補完機能として、熟練オペレータによる作業装置の操作位置と操作角度などのログを記録、次回除雪時に同位置で同じ動きを再現させる「ならい制御」(図-6)、雪堤の高さを計測しながら雪堤の中心に投雪できるように、シュートキャップを追従制御する「雪堤高さ検知制御」(図-7) といった機能を搭載している。



写真-1 高精度測位装置のイメージ



写真-2 自動制御用車載 PC のイメージ

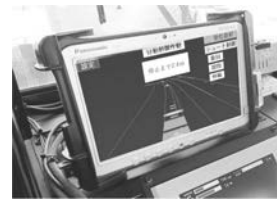


写真-3 ガイダンス装置のイメージ



写真-4 周辺状況計測装置のイメージ



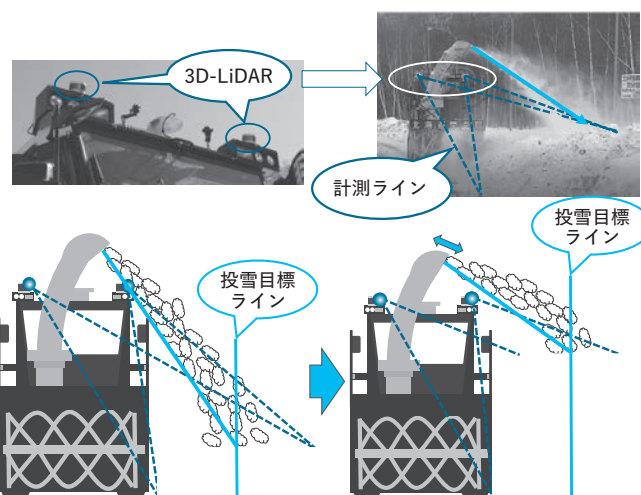
写真-5 車両検知センサのイメージ



写真-6 人感検知センサのイメージ



図－6 ならい制御の概念図



図－7 雪堤高さ検知制御の概念図

1) a) 各種センサ

- ・プロワケース回転センサ 1 式
- ・シュート旋回センサ 1 式
- ・シュート伸縮センサ 1 式
- ・シュートキャップ開閉センサ 1 式
- ・車速パルスセンサ 2 式

2) b) 準天頂衛星対応高精度測位装置

投雪位置制御及び自車位置把握に必要な高精度位置情報を取得する。

- ・準天頂衛星対応 GNSS 受信機 2 基
- ・GNSS 受信機用高精度アンテナ 2 基
- ・対応衛星信号 QZSS……L1 C/A, L2 C, L6 Galileo……E1, E5a GPS……L1 C/A, L2 C

- ・対応測位補強サービス CLAS, ネットワーク型 RTK

- ・移動体測位精度 水平位置精度：12 cm 以下※

※衛星の可視条件が良好かつ電離層・対流圏等の状態が平穏な場合を前提

- ・測位方式 PPP-RTK / PPP-RTK-INS 複合

- ・測位周期 10 Hz

- ・IMU, 車速パルス対応 あり

3) c) 自動制御用車載 PC

b) 高精度測位装置及び e) 周辺状況計測装置の情報から作業装置を車内制御（データロガー機能あり）する。

- ・自動制御用車載 PC 1 組

- ・入出力ポート RS 232, RS 232/422/485, LAN, USB 3.0, HDMI, 各 1 以上

- ・動作温度 0 ～ 45℃

- ・外形寸法 W300mm×D200mm×H100mm程度

4) d) ガイダンス装置

投雪位置制御及び自車位置把握に必要なソフトウェアと高精度 3 次元地図をインストールし、作業装置の操作情報（操作ログなど）と b) 高精度測位装置の情報から作業装置の制御指令を出力する。

- ・ガイダンス装置 1 台

- ・形式 タブレット型 PC, 10 型以上
- ・入出力ポート USB 3.0, HDMI または USB Type-C
- ・動作温度 $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$

5) e) 周辺状況計測装置

投雪位置制御に必要な車両周辺状況（雪堤高さ，雪庇状況，障害物等）を把握する（3D-LiDAR）。

- ・周辺状況計測装置 1 組
- ・測定方式 LiDAR TOF 方式
- ・測定範囲 水平： 360° 全方位 垂直： $\pm 15^{\circ}$ 以上
- ・測定距離 100 m 程度（1 m から測定可能）
- ・測位精度 $\pm 3 \text{ cm}$ 程度

6) f) 車両検知センサ

ミリ波レーダを使用し，後方から接近する車両を検知及び運転室内へ警告を発する。

- ・検知可能距離 30 m 以上
- ・外形寸法 W100mm×D40mm×H80mm程度

7) g) 人感検知センサ

車両周辺の人や物体を検知し，警告を発することができる。

- ・形式 高精度・高感度 AI カメラ方式

- ・検知範囲 4～8 m 以上
- ・ディスプレイ フルカラー高画質 7 インチ程度

8) 自動制御機能（ソフトウェア）

【ならい制御】

熟練オペレータの手動操作ログと操作位置を記録し，次回除雪時に同じ位置に除雪車が到達すると同じ動きを再現させる機能（対象：プロワ旋回，シュート旋回・伸縮，キャップ開閉）。

【雪堤高さ検知制御】

3D-LiDAR で雪堤の高さを計測しながら雪堤の中心に投雪できるように，シュートキャップを追従制御する機能。

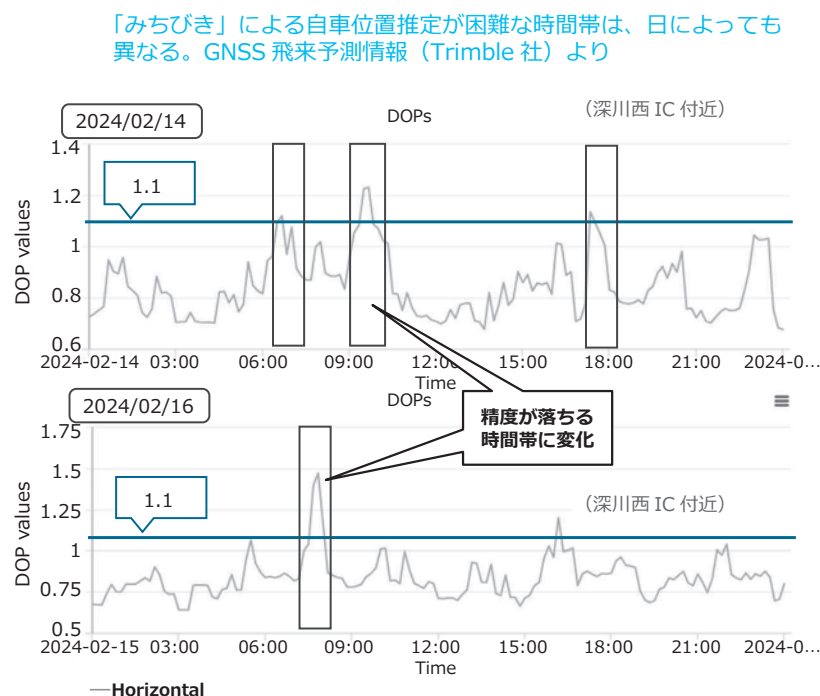
(2) 自動化機械の実働配備

平成 30 年から行った実証実験により得られた知見は，次のとおりである。

① みちびきの精度

1) 衛星の分布状況などにより変動する水平精度低下率（HDOP）が 1.1 以上の場合，約 12 cm の精度を確保している。

2) みちびき 4 機体制だと，精度が落ちる時間



図－8 日時によるみちびきの受信精度変化状況

帯(図-8)があり、日々精度が落ちる場所、
時間帯が変化することから特定が困難である。

3) CLAS (センチメートル級測位補強サービス)
の受信間隔は「1 Hz」であり、トンネルなどの衛星遮蔽区間から脱出時に FiX するまでに数分を要する。

以上より、みちびき4機体制でも、除雪作業において十分な精度を確保しているが、精度が落ちる時間帯、場所の特定が困難であることから、今後、みちびき7機体制以上になり安定性が確保されるまでの実働配備は、ネットワーク型RTKとの併用方式を暫定的に採用する方針である。



図-9 令和6年度現在の実働配備状況図

② 実働配備箇所及び機械

令和4年度より知床峠に実働配備を開始し、令和6年度までにロータリ除雪車7台（図－9、写真－7）の実働配備を行っている。また、令和6年度には北陸地方整備局が開発した除雪トラック自動制御技術を参考に、北海道特有の装置を装備している高規格道路用の除雪トラック1台を全国で初めて導入した（写真－8）。

また、一般道に多く配備されている除雪トラックは、歩道の雪を路外へ押し出し歩道除雪を行う「サイドウイング」、雪堤を切り崩して雪を車道側にかき出し車道を拡幅する「マックレー」などの作業装置が装備されていることから、それらの自動化（図-10）に向けて検討を開始している。



写真-7 ロータリ除雪車の実働状況



写真-8 高規格道路用除雪トラックの実働状況

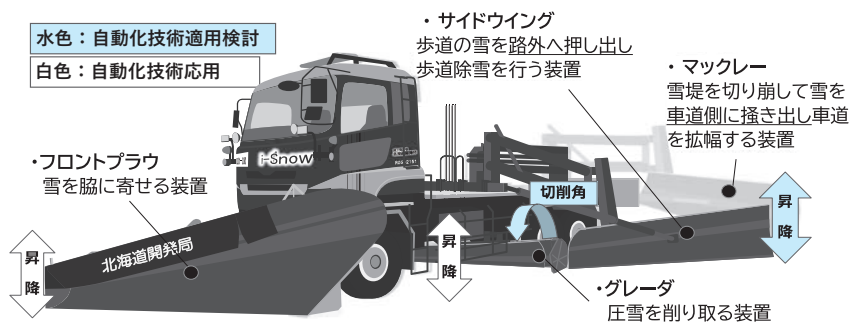


図-10 一般道用除雪トラック自動化の範囲

3. みちびきの最新動向

みちびきの7機体制の実現時期については、令和5年12月に改訂された宇宙基本計画工程表にて「7機体制構築に向け、H3ロケットの開発状況を踏まえて、2024年度（令和6年度）から2025年度（令和7年度）にかけて順次準天頂衛星を打ち上げ、引き続き着実に開発・整備を進める」と明記されている（図－11）。

その計画どおり、令和7年2月2日17時30分、みちびき6号機の打ち上げに成功し、2月13日に静止軌道に入ったと発表されたところである。

また、令和6年12月に改訂された宇宙基本計画工程表では、準天頂衛星システム11機体制に向けた開発を令和6年度より進めると明記されて

いる。

内閣府のホームページ宇宙政策内のリンク「みちびき Web サイト」では、準天頂衛星7機体制になることによるメリットが挙げられているので、除雪機械操作の自動化として期待しているメリットを次に示す。

(1) 持続測位の実現

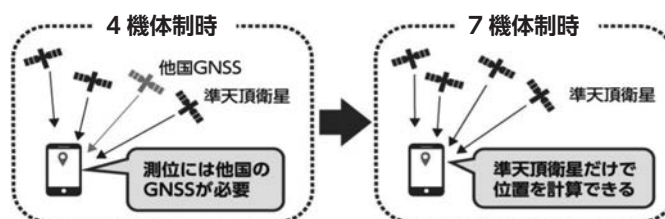
衛星測位には、4機以上の測位衛星が必要になるが、みちびきの7機体制が確立されると、日本上空には、常に4機以上のみちびきの衛星が滞空するようになるため、みちびき単独での持続測位が可能となる（図－12）。

(2) サービス範囲の拡大

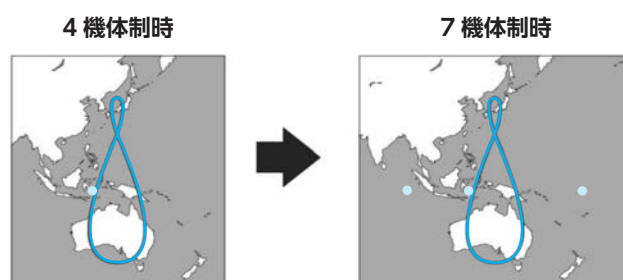
みちびきの7機体制では、準天頂軌道・静止軌道・準静止軌道にそれぞれ1機の衛星が追加配置



図－11 みちびきの打ち上げ工程表



図－12 持続測位の実現概念図



図－13 みちびき7機体制時の衛星配置

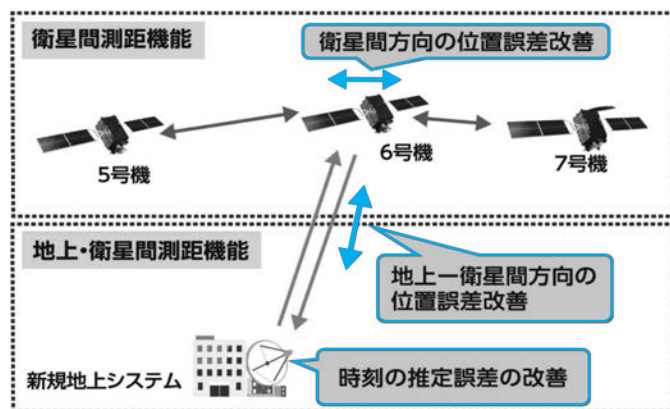


図-14 測位精度向上の概念図

され、追加される3機により、みちびきが送信する信号の受信可能範囲が拡大する（図-13）。

(3) ユーザ測位精度の向上

「衛星間測距機能」、「地上・衛星間測距機能」によって、位置情報の誤差の原因となる衛星の軌道位置・時計のずれを改善し、衛星測位サービスの測位精度を向上する（7機体制確立後の実用化を目指す。図-14）。

4. おわりに

本稿では、i-Snow で取り組み実働配備を拡大中の「除雪機械操作の自動化」に特化して述べてきた。

令和4年12月に計画が見直され閣議決定された「豪雪地帯対策基本計画」では「担い手不足に対応するため、除排雪の自動化・省力化に資する技術の開発及び普及を図る」と明文化されたように、「除雪機械オペレータの担い手減少や高齢化」については、北海道のみならず全国の積雪寒冷地域共通の課題である。

国土交通省道路局では、AIやICTなどの新技術の導入や道路調査・工事データの利活用等により維持管理の高度化・効率化を図るDXの取り組み

み「xRoad」の中で、自動制御可能な除雪機械の実働配備を進めている。積雪寒冷地域の北海道開発局、東北地方整備局、北陸地方整備局が中心となり、ロータリ除雪車、除雪トラック、除雪グレーダ、小形除雪車などの除雪機械操作の自動化に関する実証実験、自動制御システム基本仕様の策定、実働配備を進めている。

今後は、みちびきの活用を前提として実働配備を進めながら、実証実験で想定し得なかったさまざまな現場条件に適用可能な自動制御システム仕様の策定、コストを極力抑え自治体が容易に導入できるような仕様検討など、開発改良を進めることで担い手不足対策と熟練技術の継承に貢献していければ幸いである。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 北海道開発局 建設部 道路維持課、「除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組」、公益社団法人雪センター、ゆき134号
- 2) 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 機械課、貫田大輔、小野寺敬太、山本優哉、「『除雪装置自動制御付』ロータリ除雪車の実働配備について」、ゆきみらい2025 in 上越、ゆきみらい研究発表会
- 3) みちびき Web サイト（内閣府）：みちびき7機体制ほか <https://qzss.go.jp/overview/services/seven-satellite.html>
- 4) 内閣府ホームページ / 宇宙政策 / 宇宙基本計画 <https://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>