

電動車椅子型ロボット DREAM 号の走行制御に関する研究

大北 正昭
鳥取大学工学部電気電子工学科

Traveling Control of Autonomous Mobile Robots DREAM

Masaaki OHKITA
Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan
E-mail: mohkita@ele.tottri-u.ac.jp

Abstract: The author was requested by the committee of Reports of the Faculty of Engineering, Tottori university to summarize the major researches during the life in the Department of Electrical and Electronic Engineering. With many thanks, the author will describe the research activities on the Autonomous Mobile Robots DREAM as follows:

In the recent aging society, the burden of the nurses has increased. To reduce the burden even a little, we are developing the wheelchair type autonomous mobile robot, called DREAM-3, which will be used in indoor environments of the hospitals and/or welfare facilities. The DREAM-3 aims at carrying the passenger from its present place to the destination safely and comfortably. Along this line of the safety traveling, we have installed an environmental map to digitalize the information in the corresponding traveling environmental. Using the environmental map, suitable traveling route is estimated and a safety autonomous traveling is realized. This was proved on the traveling in a general welfare facility near our campus.

Besides, based on the traveling approach of DREAM-3, a semi-automatic wheelchair robot, called DREAM-4, with a learning function has been proposed. A driver operates DREAM-4 by a joystick. And when the wheelchair meets with obstacles and senses danger, it travels slowly and avoids obstacles automatically. And DREAM-4 is to learn according to the operational feature of the driver, so that to make the steering easy.

Keywords: autonomous mobile robot, environmental map, fuzzy control, an automatic wheelchair robot DREAM-3, a semi-automatic wheelchair robot DREAM-4, self-organizing map(SOM).

1. はじめに

我々の自律移動ロボットの研究は、ファジィ制御理論の実システムへの応用研究として、1989年（平成元年、電気電子工学科誕生の年）にスタートした。当初、ファジィ制御の研究にあわせて、具体的に何かを動かしてみたいという単純な動機で、自律移動ロボットの研究に着手した。鳥取大学でも、公開講座がスタートしてまだ間のないころで、我々の研究グループも、参加せよとのお誘いもあり、準備を始めた[1], [2]。これが呼び水となり、自律移動ロボットを設計、試作し、「人の前で走らせる」という目標を立て準備を進めた。恥をかきまいと、懸命に努力し、なんとか切り抜けた。さらに、走行実験の4輪モデルの例として、縦列駐車を取り上げた。縦列駐車にファジィ制御を導入したが、これが思いのほか旨くいき、ある国際会議（ダブリン、アイルランド、[3]）で発表すると、興味を持たれた。論文発表のあと、「chairman が

我々のところに来て、ホンダの車に搭載して実現するのか」と聞かれ驚いたこともあった。当初も今も、ロボットの目として用いている超音波センサの特性改善が課題で、複数のセンサを搭載したり、対象物体に向けて、センサシステム本体を動かしたりして、環境認識の精度を上げる努力をした。我々は、当初、「こうもりの超音波による飛行」の事実に着目し、何時の日にか、距離、速度、形状認識の可能な超音波センサシステム（我々は、「こうもりセンサ」と呼んでいる）を開発し、自律移動ロボットに搭載できることを夢見た。この研究は、当初、文献もなく手探りでスタートしたが、目下、博士課程後期の学生の博士論文になるまで発展している。この自律移動ロボットは、何時ごろからか、研究室で、DREAM号と呼ばれるようになり、当初、1号機ということで、DREAM-1と呼ばれた。卒業研究配属時に、学生諸氏もDREAM号にかかわり、動かすために、演算制御工学研究室を希望して、入ってきた。また、研究室のホームページ

を見て、鳥取大学の電気電子工学科を受験し、演算制御工学研究室に入ってきた学生も数人いた。インドネシアからの留学生が、研究室の制服に “*Realize the DREAM !!*” のスローガンを書いていたのを思い出す。また、ある会社から研究員の方が、このプロジェクトに加わり、現在でも、いろんな技術的な助言をいただいている。有り難いことである。我々は、このように、自律移動ロボット DREAM を 15 年以上も、継続して、研究することになるとは、当初、思ってもみなかった。現在のそれは、4 世代目になり、自己組織化マップの学習機能を応用した DREAM-4 まで世代交代をしている。あとで触れるが、このプロジェクトは、現在、自律移動車椅子に 응용され、実用化段階にあり、実用化に向けて、産官学のある研究テーマに選ばれ、「ちゅうごく産業創造センター」の主催で、さらに大きなプロジェクトに発展させるべく DREAM 研究会（「人工知能により操作負担を軽減する次世代電動車椅子の実用化研究」研究会）が組織されている。各界から有能な、研究者、企業家も加わり、鋭意、事業化に向けて努力している。

日本でも、いづれ近い将来には、高齢化社会が訪れ介護者の負担も増加するものと考えられるようになるものと、高齢化社会で活用されることを考え、1996 年頃、上記の自律移動ロボット DREAM 号の研究の方向性を、電動車椅子に決めた。この方針に沿って、病院や福祉施設等における身体障害者の介護用ロボットとして、電動車椅子をベースとした車椅子型自律移動ロボット DREAM-2 の開発を行った。DREAM-2 は、外界センサのみで、走行の制御を行った。走行の安全性と信頼性を意図した DREAM-3 は、全自動走行方式で、はじめに、タッチパネル等で、目的地地点を指示してやれば、ロボットが環境を認識して、目的地地点まで走行する方式である。DREAM-3 には、環境マップを搭載した。「この環境マップ方式では、あらかじめ、走行環境をマップ化して、搭載し、自律移動電動車椅子が環境を走行する場合に、その車椅子モデルも同時に、走行するもので、走行中に障害物が出現した場合にこれをマップ上に書き込み、車椅子モデルが、走行経路を探索決定し、駆動情報を実機の駆動系に伝える」ものであった[4]-[13]。先行技術調査で出願中の特許を検索したが、このアイデアは、今でも新しいようで、我々の DREAM-3 号のセールスポイントの一つになっている。（特許検索では、学習機能について、類似特許を見ない。環境マップに関する類似特許として以下のものがある：特開 2002-36152 松下電工、2003-214887 日立製作所、特開 11-290390 松下電器産業、特開 2003-316439 安川電機、特開 2003-24391 日立国際電気）。また、2005 年（平成 17 年）3 月 24 日、DREAM-3 号の公開走行実験を大学の近くの老人健康施設“みやこ苑”で実施、

TV&新聞にも取り上げられた。

次に、老人健康施設、福祉用具メーカ、車椅子製造販売メーカの意見をアンケートにより収集し、車椅子型自律移動ロボットに走行の全部を依存することの危険性を考慮し、搭乗者の選択の自由を考慮した電動車椅子を考案した。即ち、自律移動電動車椅子の走行に学習機能を持たせて、「走るごとに賢くなる機能を持たせうる走行法」を、自己組織化マップ（SOM）の学習機能を用いて実現できる技術を考案した。あわせて、搭乗者の意思を重視した、行動選択のみで安全に走行できる、半自動タイプの電動車椅子 DREAM-4 を提案した[14]-[21]。

DREAM シリーズは、上記のように、自律移動ロボット DREAM-1（初世代機）、自律移動車椅子 DREAM-2（第 2 世代機、全自動、環境マップ）、DREAM-3（第 3 世代機、全自動、環境マップ+学習機能付、SOM の活用）、DREAM-4（第 4 世代機、半自動+学習機能付）と研究が進行中であるが、以下に、DREAM-3 及び DREAM-4 についてその研究の概要を紹介することにする。

2. 全自動自律移動ロボット DREAM-3

全自動自律移動ロボット DREAM-3 は、施設内において介護者の助けを必要とせず、身障者を乗せて安全に目的地までの移動を行うことを可能とすることにより、身障者自身の意思の尊重やヘルパーの介護に費やす負担の軽減等が期待される。DREAM-3 では、新たに環境マップという地図情報を搭載することにした。この環境マップ上において DREAM-3 に搭載したセンサ情報を統合することにより、より安定した自己位置認識、障害物認識を伴った自律走行を可能としている。

2.1 全自動自律移動ロボット DREAM-3 の構成

全自動自律移動ロボット DREAM-3 の外形を図 1 に示す。DREAM-3 は市販の電動車椅子をベースとし、これに各種センサやノート型パーソナルコンピュータをホストとするコンピュータシステム（以下、ホスト PC と記載）等を搭載した。駆動方式は左右の車輪を独立して制御する事が可能な二輪独立駆動方式であり、この駆動輪を用いて車体の方向転換と駆動を行う。この左右の独立したモータにより、急旋回や真値回転等の複雑な動作をスムーズに行うことが可能である。図 2 に DREAM-3 のハードウェア構成図を示す。DREAM-3 には自律走行を行うためのセンサとして、周囲の環境認識に用いる超音波センサ[7], [8]、自己姿勢角認識に用いるジャイロセンサ、ランドマーク検出に用いる磁気近接センサ、また、走行用モータシステムを左右輪独立して搭載している。これらのセ

ンサ及びモータの制御用に 16bit マイコン H8(3048F)を搭載している。



(a) 外形



(b) 調整風景

図 1 全自動自律移動ロボット DREAM-3

超音波センサは車体前方に左右 3 個ずつ 45 度おきに設置され、周囲の障害物との相対距離を計測する。ジャイロセンサは角速度を示し、この角速度を H8 により 1 サイクルあたりの各変化量に積分し、この値を出力する。ランドマークリーダ[22]は近接磁気センサであり、走行経路上の分岐点などにあらかじめ設置している金属性のランドマークを検出する。また、DREAM-3 の走行制御及びシステム管理用に組み込み型のホスト PC を搭載しており、各制御用 H8 ボードからの情報は USB を介してこのホスト PC へと送られる。ホスト PC には、走行する施設内の壁や固定障害物などの位置を記した地図情報 (環境マップ) [8] があらかじめ搭載されている。搭載している各センサからの情報は全てこの環境マップ上に統合される。ホスト PC は、このセンサ情報の統合された環境マップ情報を用いて走行パターンの選別及びファジィ推論を用いての走行制御を行う。ファジィ推論の出力値は DREAM-3 の目標姿勢角であり、この角度を目標に左右のモータを PWM 制御する。この処理方法により、

精度の高い走行制御、センサに異常が発生しても他のセンサ情報により補い走行できるといったロバスト性の向上などがあげられる。

2.2 環境マップを用いた環境認識

各種センサの測定値は、誤差を含んでおり、また動作の安定性も絶対とはいきれない。そこで、DREAM-3 では搭載するセンサから得られる情報を統括的に取り扱い、個々では誤差の多かったデータの信頼性を上げるために、図 3 に示す環境マップという走行環境の状況を書き込んだ地図情報を DREAM-3 のナビゲーション信号として使用する。

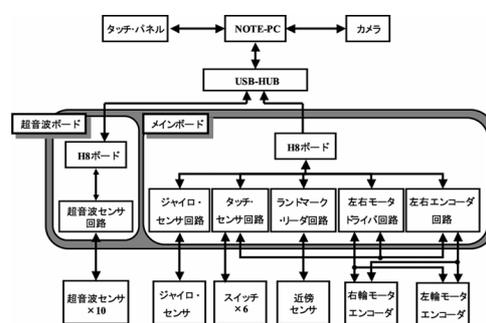


図 2 ハードウェア構成

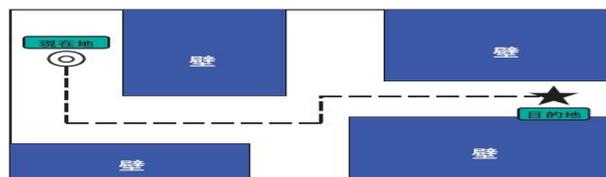
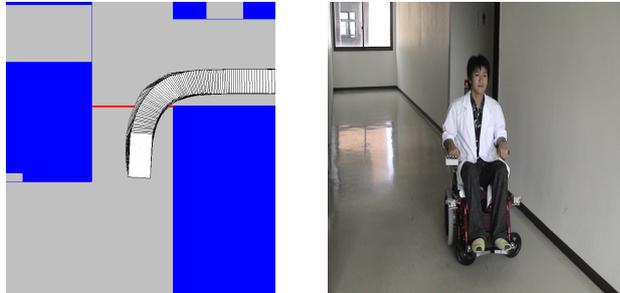


図 3 環境マップの概念図

2.2.1 環境マップ

環境マップとは、ホスト PC 上での 1 [dot] が実環境での 1 [cm] となるよう走行する屋内全体の壁、柱、固定障害物などのあらかじめ存在する情報を書き込み、また絶対位置を DREAM-3 に認識させる境界線 (ランドマーク) も書き込んだ地図情報である。DREAM-3 は、搭乗者から目的地入力を実施された場合に最短経路探索を行い、その結果の最短経路を最適な間隔で分割した位置情報 (サブゴール) を算出し、このサブゴールも環境マップ上に書き込む。自律走行時には、このサブゴールの連続した位置関係により現在の行動パターンを選別する。走行の際は DREAM-3 の自己位置や超音波センサで検出した未知の障害物を基に環境マップを常に更新し、サブゴールの位置関係より

走行パターンを切り替えながら走行制御を行う。図 4(a),(b)に環境マップ上の DREAM-3 モデルの位置と実環境での DREAM-3 の自己位置との対応関係を示す。



(a)環境マップ上での DREAM-3 モデルの自己位置 (b)実環境での DREAM-3 の自己位置

図 4 環境マップの例

図 4 より環境マップ上の自己位置と実環境での自己位置は 1 対 1 に対応していることが分かる。また、DREAM-3 では走行中に得られたセンサ値を用いて自己位置の決定と未知の障害物の発見を行い、自己位置と未知の障害物を環境マップに書き込み環境マップを更新する。

2.2.2 DREAM-3 の自己位置認識

DREAM-3 は、左右輪に搭載しているロータリ・エンコーダ[7]からのパルスより算出した走行距離と、ジャイロセンサより得た変化角から DREAM-3 の位置及び姿勢変化量を算出し、図 5 のように環境マップ上の現在位置を更新する。

2.2.3 DREAM-3 の障害物認識

DREAM-3 の障害物認識は、前方に取り付けられた 6 個の超音波センサシステムを用いる。各超音波センサシステムからの相対距離値を使用し、環境マップ上に書き込まれている DREAM-3 の現在位置から、

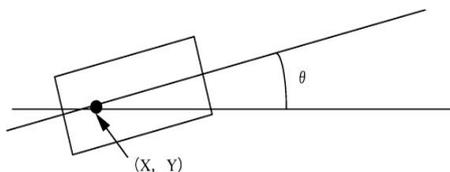


図 5 環境マップ上での DREAM-3

DREAM-3 の車体に取り付けられた 6 個の超音波センサと同位置となる箇所から、超音波センサの指向性を考慮し（センサの向いている方向に対して $\pm 23[\text{deg}]$ の広がり）、適切な位置に弧を描くように環境マップに書き込む。例えば図 6 のように DREAM-3

前方に障害物が存在すると仮定し、前方右の超音波センサから $x[\text{cm}]$ の値を取得したとすると、図 7 に示すように環境マップに書き込む。走行は、左壁沿いを基準とした最短経路探索を用いて実行した。

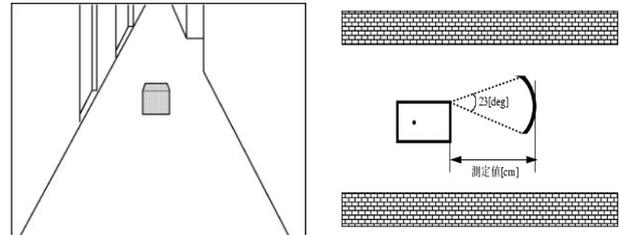


図 6 障害物の存在する環境 図 7 超音波センサ値による環境マップの更新

ここでは、最短経路問題解決アルゴリズムの一つである A* アルゴリズム [7] をベースとし環境マップ上で経路探索を行うことにより様々な環境に適した経路を生成し、その生成経路に対し複数台使用時においても経路探索の時点で衝突の危険性を回避するような左壁沿い経路に最適化する方法を提案した [10]。また、障害物回避行動におけるメンバシップ関数は、遺伝的アルゴリズム(GA)により調整した。DREAM-3 はファジィルールにおける基本行動パターンを左壁沿い走行、壁に依存しない走行、左折、右折の 4 種類持っており、自律走行時には常にこの 4 種類の走行パターンから 1 つのパターンを選択し、そのファジィルールに従って走行する。しかし、これら 4 走行パターンのみでは経路探索時に認識できなかった未知の障害物を走行中に超音波センサなどのセンサにより認知できても障害物の大きさによっては回避困難である。そこで障害物を回避するため走行パターンを新たに追加し、その走行パターンのためのメンバシップ関数の構築に GA による最適化の手法を提案した [11]。さらに、両輪駆動用モータの回転制御にファジィ制御を導入した。これまでの DREAM-3 におけるモータ制御には PID 制御を用いていた。PID 制御はシンプルな構成でありながら、プロセス制御の大部分の対象に対して優れた制御能力を持っている。しかし、PID 制御では、各係数の決定に経験則が要求される。これまで、DREAM-3 は、この各係数を適当に決定していたために、速度指令値に対する実際の走行速度の応答遅れが非常に大きかった。そのために右左折などで曲がりきれずに衝突するといった問題が頻発していた。そこでモータの制御システムに、DREAM-3 の走行ダイナミクス (伝達関数) を考慮する必要がないファジィ制御を活用した。また、これまでの DREAM-3 にはブレーキ機能は設置されておら

ず、従って、ホスト PC からの緊急停止信号や DREAM-3 の走行時、突然正面に障害物が出現した場合や、部屋のドアが開くなどの予想ができない状況が起こった場合においては、ホスト PC からの速度指令値に追従することが不可能と考えられた。この問題に対しては、ブレーキ機能を含んだファジィ制御システムを導入し、この点の改良もあわせて行った。

2.3 走行実験

上記のブレーキ機能を含んだファジィ制御システムの有効性を検証するために、従来のブレーキ機能を持たないモータ制御を用いた走行との比較実験を行った [10], [11]。

実験は DREAM-3 の車輪を浮かした卓上実験とし、本学科 5 階においての環境マップを用いて実験を行った。図 8 にブレーキを考慮した場合の走行軌跡、図 9 にブレーキを考慮しないこれまでの走行軌跡を示す。

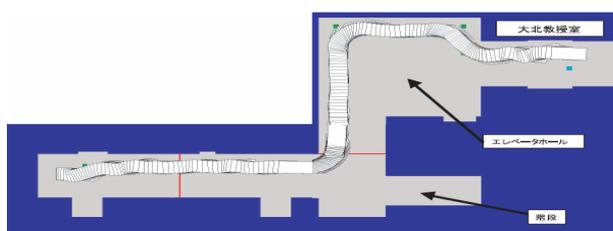


図 8 ブレーキを考慮した DREAM-3 の走行軌跡

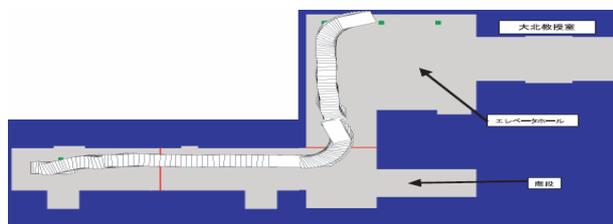


図 9 ブレーキを考慮しない DREAM-3 の走行軌跡

図 9 の結果では階段前のエリアにおいて、DREAM-3 が速度を落とすことができずに大回りして左折してしまっている。対して、図 8 の結果においては階段前の壁が接近してくるにつれてブレーキ機能が働き、速度を落として小さな移転半径で左折を行っている。また、エレベータホールではブレーキを考慮していない実験結果の方では、速度を落とすことができず、壁に衝突してしまっているのに対し、ブレーキ機能を考慮した場合においては壁に衝突することもなく正確に目的地である演算制御工学研究室の前まで到達している。以上により、ブレーキ機能を考慮した本手法の有効性が確認できた。

2.4 老人健康施設での試験走行

これまで述べてきた実用化を目的としたロボスト

性向上のためのアルゴリズムにより、老人健康施設での試験運用を行った。同施設 2 階回廊部において初期値及び目的地を任意に設定し、人型の障害物を設置した走行環境において行った。図 10 に走行実験を行った老人健康施設の環境マップを示す。

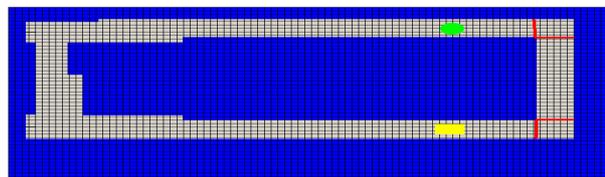


図 10 走行実験環境の環境マップ



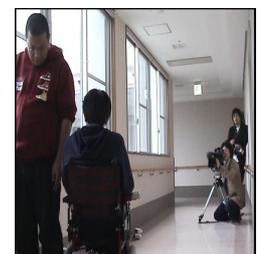
(a)



(b)



(c)



(d)

図 11 大学近くの老人保健施設での公開走行実験風景(障害物回避時)

ここで黄色の長方形がスタート位置、緑の円がゴール位置を示している、また赤の直線はランドマークを示している。ここで人型の障害物は環境マップ上での既知の情報ではなく、走行中に突然出現するものとした。次に実際の障害物回避時の走行風景を図 11(a)-(d) に示す。走行環境においても、未知の障害物を正確に検出し、その情報よりの確な判断を行うことより障害物を回避しながら搭乗者が指定した目的地まで安全な自律走行が可能なが分かった。前述したが、老人健康施設“みやこ苑”での走行実験の様子が、NHK-TV、読売新聞、山陰中央新聞、日本海新聞等で報道された。実現に対する期待が手紙等で寄せられた[23]。

3. 学習機能付き半自動車椅子ロボット DREAM-4

3.1 半自動自律移動ロボット DREAM-4 の構成

ここでは、学習機能付き半自動車椅子ロボット(以下、半自動 DREAM-4 と記載)を提案する。搭乗者はジョイスティックにより操縦を行うが、半自動 DREAM-4 では、危険を感知すると徐行および回避行動をとり、さらに搭乗者の操作法に合わせて学習を行うことで、操作を容易にする特徴をもつ。即ち、走行制御のため、自己組織化マップ(以下、SOM と記載)を用いる [14] - [17]。SOM の追加学習機能を利用し、搭乗者の操作の特徴に応じた学習を走行中に逐次行う。本稿では、ファジィ制御を用いた走行によるデータを用いて SOM の初期学習を行い、さらに SOM へ追加学習を行う手法を提案する。また、本手法の有効性を確認するために走行シミュレーションを行い、検討する。

半自動 DREAM-4 は、図 12 に示すようにロータリエンコーダや超音波センサおよびノート型パーソナルコンピュータ (以下、PC と記載) を搭載している。

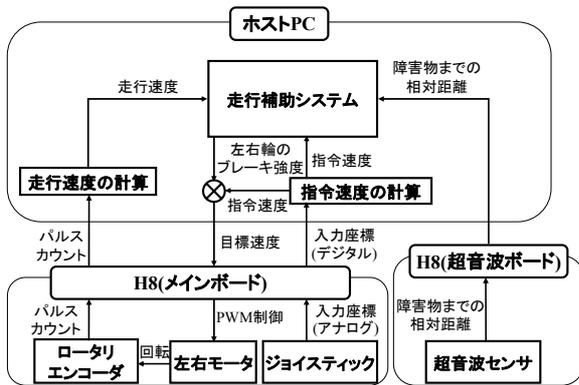


図 12. 半自動 DREAM-4 の信号の流れ

超音波センサを用いて、走行中に障害物との距離を測定する。超音波センサは正面方向、斜め前方向、横方向に向けて設置されており、それを左右に 1 組ずつ、計 6 基が装備されている。超音波センサの位置関係を図 13 に示す。SL₁~SL₃ および SR₁~SR₃ が超音波センサをあらわしている。ジョイスティックから得られる座標から指令速度を算出し、これに対し超音波センサから得られる障害物距離値を考慮し速度調整を行う。ロータリエンコーダは車椅子の速度を取得するために用いる。

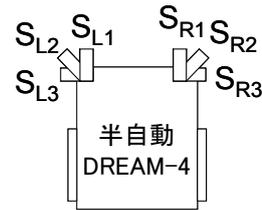


図 13. 超音波センサの配置

3.2 走行アシストシステム

3.2.1 徐行および回避の方法

ジョイスティックから算出した速度、即ち、左右輪それぞれの回転数に対し、ブレーキ強度を考慮することで図 14 のように徐行および回避を行う。ここでブレーキ強度とは左右輪それぞれの回転数を下げたための係数である。(a)は正面に障害物があり危険と考えられるため、両輪のブレーキ強度を強めて徐行する。(b)は左方向に障害物があるため、右輪のブレーキ強度を強め障害物の回避を行う。

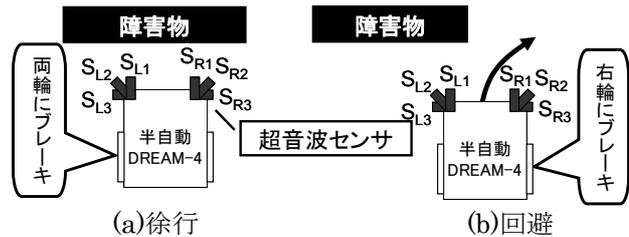


図 14. 徐行および障害物回避の方法

3.2.2 ファジィ制御による走行補助

障害物までの距離を前件部とし、出力される制御量 (以下、ブレーキ強度と記載) を後件部とする。走行時には、指令速度を状況にあわせて調整し、ファジィ制御器への入力とし、簡略化推論法を用いて走行制御を行う。

走行補助システムとしてファジィ制御を行った場合のフローチャートを図 15 に示す。前件部で超音波センサの距離値から得られる適合度、後件部はブレーキ強度のシングルトン変数とし、各ルールのブレーキ強度の重心を求め最終的なブレーキ強度とする。

3.2.3 SOM による走行補助

ファジィ制御による走行情報を SOM に初期学習させる。走行情報とは表 1 に示すように、障害物までの距離、指令速度、およびブレーキ強度である。

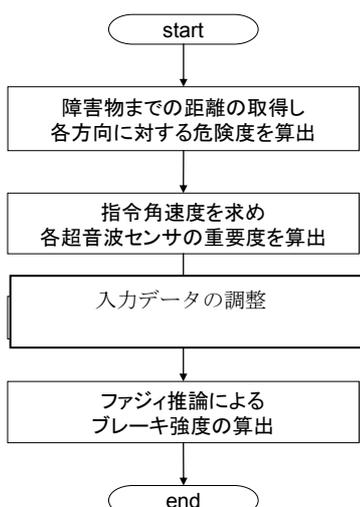


図 15. ファジィ制御による片輪に対するブレーキ強度算出手順

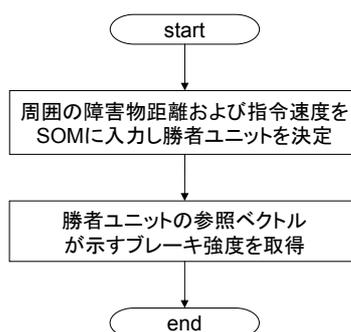


図 16. SOM による片輪に対するブレーキ強度算出手順

と考えられる。また、走行環境や搭乗者の操作方法により追加学習の内容は異なる。ゆえに、その走行環境および操作方法において早いタイミングで徐々にブレーキ強度を変化させることで、学習するにつれ同じ操作に対してもより安全な経路を走行するようになると思われる。

表 1. 入力ベクトル

走行時の入力			走行時の出力	
障害物までの相対距離		指令速度	ブレーキ強度	
左側正面方向	左斜め前方向	左方向	x方向	左輪
右側正面方向	右斜め前方向	右方向	y方向	右輪

走行時には、図 16 のフローチャートに示すように障害物までの距離および指令速度のみを SOM に入力しマッチングを行い、勝者ユニットの参照ベクトルが示すブレーキ強度を出力する。ここで、1 サイクル前と現在の勝者ユニットを比較し、走行中に追加学習条件を満たしていた場合に、SOM に対して追加学習を行う。

本稿では追加学習条件のとして、図 17 に示すように 1 サイクル前の勝者ユニットと現在の勝者ユニットを比較し、これらの二乗誤差が閾値以上である場合に、これらの参照ベクトルを入力ベクトルとして上書き学習する。これにより、ファジィ制御に比べてよりスムーズで安全な走行が可能になると考えられる。例えば、周囲の障害物距離を用いてブレーキ強度を逐次算出するファジィ制御においては、環境の変化や障害物が超音波センサの死角に突然隠れた場合、急にブレーキ強度を弱めることが考えられる。これにより、急加速することが考えられる。逆にブレーキ強度を急に強めることにより、急減速することも考えられる。前述した条件により追加学習を行うことで、早いタイミングで徐々にブレーキ強度を変化させるようになるため、急減速および急加速を防ぐことが可能になる



図 17. 追加学習手法

3.3 シミュレーション

提案法の有効性を確認するため、シミュレーションを行う。

3.3.1 SOM の初期学習

まず、ファジィ制御より SOM の初期学習用データを作成する。図 18 に示す環境にて、手動で任意に操作する。このとき、ファジィ制御による走行補助を行う。また、障害物までの距離、指令速度およびブレーキ強度を 200msec 毎に保存する。

参照ベクトルの各要素の最小値、最大値、および最小値と最大値の差をそれぞれ、表 2、表 3、表 4 に示す。ここで、表 4 より、ブレーキ強度の最小値と最大値の差が他の要素に比較して大きいことがわかる。これは、SOM が形成される際に、ブレーキ強度の値に大きく左右されることを意味している。ゆえに、各要素の最小値と最大値の差を変更することで、SOM のクラスタリングの行われ方が変化すると考えられる。これにより、走行動作の調整を行うことが可能である。

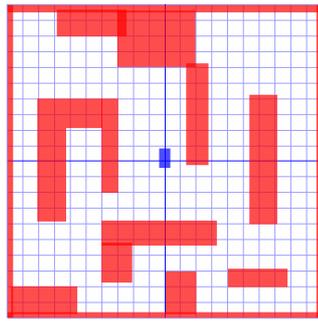


図 18. 初期学習用データ作成に用いる環境

表 2. 参照ベクトルの各要素の最小値

走行時の入力			走行時の出力	
障害物までの相対距離			指令速度	ブレーキ強度
0	0	0	-100	1
0	0	0	-100	1

表 3. 参照ベクトルの各要素の最大値

走行時の入力			走行時の出力	
障害物までの相対距離			指令速度	ブレーキ強度
200	200	200	100	1200
200	200	200	100	1200

表 4. 参照ベクトルの各要素の最小値と最大値の差

走行時の入力			走行時の出力	
障害物までの相対距離			指令速度	ブレーキ強度
200	200	200	200	1199
200	200	200	200	1199

本シミュレーションの例では、合計で 75 個のデータを用いて SOM へ初期学習を行う。初期学習に用いたパラメータを表 5 に示す。

表 5. 初期学習のパラメータ

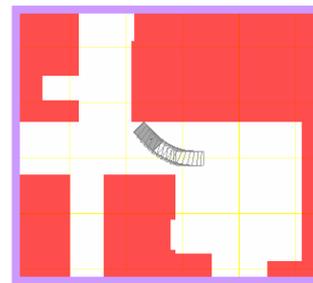
マップの種類	Torus
次元数	10
入力データ数	100
出力層の大きさ	20*20
出力層のユニットの形	六角形
近傍関数	gaussian
学習回数	50000
学習係数	0.02
学習半径	15
打ち切り閾値	0.001

3.3.2 走行シミュレーション

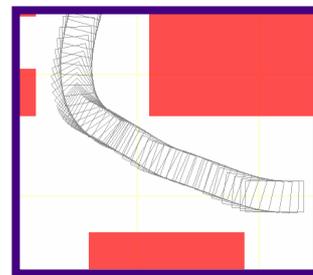
搭乗者が、早く曲がるという操作の特徴を持つとし、これを再現するため、ジョイスティックの入力座標が正面より右に 30 度の状態になるように設定して動作を検証する。追加学習における学習パラメータを表 6 に示す。

表 6. 追加学習のパラメータ

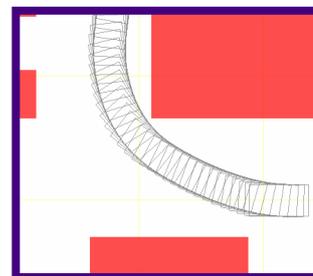
近傍関数	gaussian
学習係数	0.02
学習半径	15
打ち切り閾値	0.001



(a) 走行補助システム無し

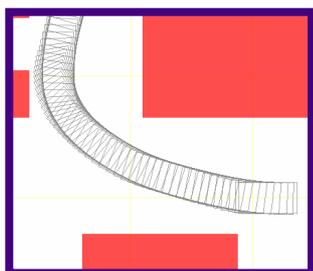


(b) Fuzzy 制御による走行補助

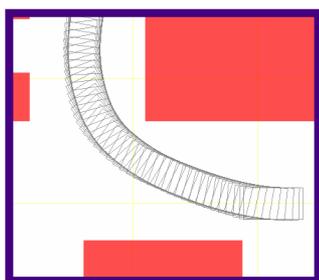


(c) SOM による 1 回目の走行

図 19. シミュレーション結果

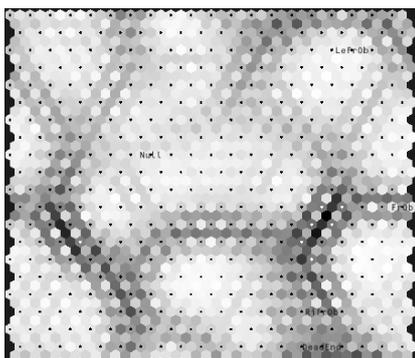


(d) SOM による 2 回目の走行

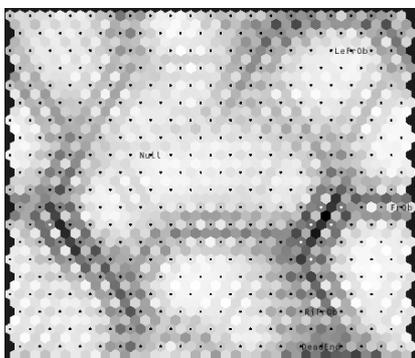


(e) SOM による 3 回目の走行

図 19. シミュレーション結果(続き)



(a) 初期学習後の SOM



(b) 追加学習後の SOM

図 20. シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 19 に示す。(a)より走行補助システムが無い場合は壁に衝突することが分かる。しかし、(b)に示すようにファジィ制御においては回避を行う。ただし、軌跡はいびつな形となっており、調整が不十分であると考えられる。また、初期学習をした後の SOM を用いた場合においては、(c)に示すように壁に接近しているものの、衝突することなく右折する。ただし、壁に接近している部分があり、危険な状況があったと考えられる。(d)においては、(c)とは逆の壁に接近している。これは、1 度目の追加学習による補正が強すぎたためと考えられる。3 回目の走行では、(e)のように壁に接近することなく右折をする。さらに追加学習を行うと、追加学習条件を満たさなくなり、(e)に示した走行を繰り返すようになった。この結果から、搭乗者が早く右折操作をしてしまうという癖に対し、より安全に右折するように車椅子が学習していると考えられる。本来は(c)のように逆の壁に接近することなく徐々に安全な走行が得られることが望ましい。そのためには、学習係数を小さくすると良いと考えられる。

また、追加学習の前後における SOM のクラスタリングの状態を比較した結果を図 20 に示す。この結果より、際立った変化は見受けられない。ゆえに、シミュレーションを行った状況以外の環境に対する影響は少ないと考えられる。さらに、安全な走行補助を実現するために、右折時以外のさまざまな場合を考慮する必要がある。

3.3.3 シミュレーションの評価

学習機能付き半自動車椅子ロボットの提案を行った。また、Fuzzy 制御および SOM による制御を行うプログラムを作成し、シミュレーションにより有効性を確認した。この後、実機による実験を行う予定である。

4. 「人工知能により操作負担を軽減する次世代電動車椅子の実用化研究」研究会の発足

学習機能付き半自動車椅子ロボットについては、本研究の実用化を視野に入れた、DREAM 研究会（正式名称は、「人工知能により操作負担を軽減する次世代電動車椅子の実用化研究」研究会であるが）が、2007 年（平成 19 年）4 月より発足している。研究会は、メンバーは 12 名で、年に 4 回の研究会を経て、これまで、演算制御工学研究室で培い発展させている技術を土台にした、予算獲得のための準備委員会である。メンバーは以下のとおりである（敬称略）。大北 正昭（鳥取大学 工学部 電気電子工学科、教授）、大木 誠（鳥取大学 工学部 電気電子工学科、准教授）、岸 明広（キシ・エンジニアリング(株)、専務取締役）、

徳高 平蔵 (㈱SOMジャパン、代表取締役)、木村 昭彦 (㈱カサタニ 鳥取技術センター、所長)、黒田 正範 ((独)産業技術総合研究所 中国産学官連携センター、総括主幹)、島筒 博章 ((独)科学技術振興機構 研究成果活用プラザ広島、科学技術コーディネータ)、内海 盛之 (中国経済産業局 医療バイオ担当、推進1係長)、松尾尊義 (鳥取大学、産学・地域連携推進機構、産学官連携コーディネーター)、村岡諭 (臨時講師、(株)シルバー新聞社、電動車椅子市場についての専門家)、大島 時生 ((財)ちゅうごく産業創造センター、コーディネーター)、道中 眞典 ((財)ちゅうごく産業創造センター 産業創出部、部長)、田端 主 (財)ちゅうごく産業創造センター 産業創出部調査役) 及び演算制御工学研究室の学生により構成されている。



図 21 DREAM 研究会メンバー



図 22 研究会での走行実験

5. まとめ

我々は、病院や福祉施設等において利用することを前提とし、施設内において介護者の助けを必要とせず、身障者を乗せて安全に目的地までの移動を可能とする身障者介護用ロボットとして、電動車椅子をベ-

スとした車椅子型自律移動ロボット DREAM-3 を開発している。

車椅子型自律移動ロボット DREAM-3 の特徴は、実用化に向けたロバスト性、様々な走行環境に対応する柔軟性の向上の目的として、環境マップを搭載している点にある。性能評価のため、老人保健施設において走行実験を実施し、上記の環境マップを含む走行アルゴリズムの実装により実際の走行環境において搭乗者の安全を意識したロバスト性の高い自律走行を行うことができることを確認した。

次に、学習機能付き半自動車椅子ロボット(半自動 DREAM-4)を提案した。半自動 DREAM-4 では、搭乗者はジョイスティックにより操縦を行うが、危険を感知すると徐行および回避行動をとり、さらに搭乗者の操作法に合わせて学習を行うことで、操作を容易にする特徴がある。また、走行を重ねることで、より賢い走行が実現できる車椅子の開発とも言える。

本文で触れたが、現在、上記の半自動 DREAM-4 の実用化研究が、ちゅうごく産業創造センターの協力を得て、未来型の車椅子の開発が進行中である (図 23 未来型の車椅子の例)。今後の発展を期待されるよう鋭意努力したい。



図 23 未来型の車椅子の例

6. その他の研究

自律移動車椅子ロボット DREAM シリーズの開発研究は、前述したように、1989年(平成元年、電気電子工学科誕生の年)からスタートした。研究室としては、「自律移動ロボットの走行制御」を、メインテーマとして掲げ、ソフト班、ハード班、超音波班、画像班に分け、研究分担し、各班にチームリーダー(班長、大学院生)をおいて進めてきた。そのうち、博士後期の学生が生まれて、研究に熱を帯びてきた。さらに、電力用変圧器メーカーからも博士後期の学生が入学してきて、パワー班ができ、徳高平蔵先生(現 鳥取大学名誉教授)の勧めもあり、自己組織化マップ

(SOM) の考え方を学ぶことになった。SOM のアルゴリズムは、当初、その創始者であるフィンランド、ヘルシンキ工科大学のコホーネン先生 [14] とその研究グループの開発されたものを使用していたが、我々の研究室でも、SOM アルゴリズム作成チームを編成し、所謂、演算 SOM を完成させた。画像処理等に活用されたが、処理速度に問題があった。演算 SOM の改善に意欲を燃やして研究室に入ってきた学生が、このアルゴリズムを改良し、トーラス SOM (Torus SOM) を完成させた。Torus SOM は、他の研究室でも、有効に使用されており、その後出版された文献 [16] の CD 版により世間に公開されている。図 24 に同文献に掲載されているプログラム外観を示す。パワー班では、タップによる電力用変圧器の電圧制御、SOM を用いた電力用変圧器の温度予測、SOM を用いた電力系統の電圧予測、水道局の配水量予測等の研究を実施した。超音波班では、「こうもりセンサ」の研究が光を見出しつつある。結局、2007 年 9 月現在までで、パワー班で、3 名 (杜 紅、乾 正博、馬庭芳朗)、ソフト班で、大木准教授を含め、2 名 (大木誠、権田英功)、ハード班で、2 名 (宮田仁志、G. Nyauuma Nyakoe)、他 2 名 (高橋信雄、横関一郎) の博士 (工学) を輩出した。現在、超音波班で、1 名 (奥雲正樹)、パワー班で、1 名 (Peter Kamita Kihato、在 Jomo Kenyatta University, Kenya) の学生が博士取得を目指して健闘中である。学科内、学科外の多くの皆様のご協力に感謝致します。

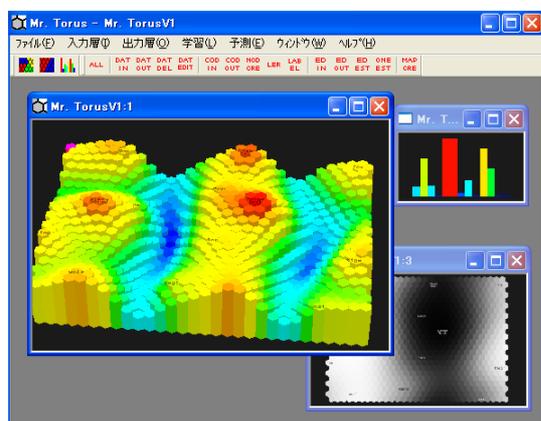


図 24 Torus SOM のプログラム外観

7. おわりに

電気電子工学科が設立されてから着手した「自律移動ロボットとその制御」の研究について、研究動機、研究開発の進め方、社会からの反応、現在の研究状況等を説明した。大学発の研究が、微力でも、社会に役に立てば幸いである。

謝辞

DREAM 号の立ち上げ、回路の設計、製作、走行実験、研究発表、展示会への出品、アンケート調査と、青春の一時を、日夜労をいとわず尽力され、今は、各界で活躍されている演算制御工学研究室の卒業、修了生、また、現在、この研究を進めておられる、研究室メンバー、(株)カサタニの木村昭彦氏に、敬意を表し、深く感謝したい。車椅子の使用状況、福祉具の見学、公開走行実験の場の提供と種々お世話になりました健康保養施設「みやこ苑」様に、この場を借りてお礼申し上げます。最後に、我々の研究の一部の紹介に、ページを割くことに配慮された関係各位に改めてお礼を申し上げます。さらに、この一連の研究を通じて、微力でも社会の発展に尽くせたならば、これ以上の喜びはありません。—深謝—

文 献

- [1] 大北正昭、宮田仁志、前田繁幸、神井敏広、小林康浩：“ファジィ理論を用いた走行ロボットの試作”，鳥取大学工学部研究報告書，第 21 巻，pp.75-90 (1990) .
- [2] 鳥取大学工学部編：夢への挑戦—鳥取の未来を開く— (1995.11) .
- [3] Masaaki Ohkita, Hitoshi Miyata, T. Ohishi: “Control of a Mobile Robot by the Fuzzy theory”, Trans. of IMACS'91(Proc. 13th World Congress on Computation and Applied Mathematics, July 22-26, 1991 Trinity College, Dublin, Ireland) Mathematics and Computers in Simulation, Vo.3 (1991).
- [4] H.Miyata, M.Ohki, Y.Yokouchi and M.Ohkita : “Control of the Autonomous Mobile Robot DREAM-1 for a Parallel Parking”, Mathematics and Computers in Simulation (IMACS), Vol.41, pp.129-1383 (1996).
- [5] 大北正昭、玉那覇隆介、奥雲正樹、田中淳、佐々木忠義、竹内俊博、木村昭彦、大木誠：“自律移動ロボット DREAM-3 の環境マップを用いた環境認識”，鳥取大学工学部研究報告書，第 34 巻，(2003).
- [6] Nyakoe G.N., 佐々木忠義、竹内俊博、木村昭彦、高橋智一、大木誠、大北正昭：“自律移動ロボットの環境マップを用いた走行制御の検証”，鳥取大学工学部研究報告書，第 32 巻 (2001).
- [7] 大木誠、大北正昭、佐々木忠義：“自律移動ロボット DREAM-3 における自己位置認識及び補正

- について”, 信学技報 (電子情報通信学会技術報告) DSP2002-34, pp.23-28 (2002).
- [8] Masaaki Ohkita, Ryousuke Tamanaha, Masaki Okugumo, Jun Tanaka, Akihiko Kimura, and Makoto Ohki: “Environmental recognition of the autonomous mobile Robot DREAM-3 using an environmental map”, ISBS2004 (Proc. of International Symposium on Bio-inspired Systems, Part V Robotics and Motion Control, M-2-5, pp.74-82, March 8-9, Kitakyusyu, JAPAN, (2004).
- [9] 上田 宙史, 奥雲 正樹, 田中 淳, 大槻 和志, 黒川 尊史, 横田 州史, 赤澤 圭治, 境 優一, 大北正昭, 大木 誠: “自律移動ロボット DREAM-3 における超音波センサシステムの特性改善”, 平成 17 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, (on CD-ROM) (2005). (奨励賞受賞論文)。
- [10] 奥雲正樹, 黒川尊史, 大北正昭, 大木誠, 田中淳, 大槻和志, 横田州史, 木村昭彦: “車椅子自律移動ロボット DREAM-3 のブレーキ機能を考慮した走行制御”, 鳥取大学工学部研究報告 36 号(2005).
- [11] 奥雲正樹, 横田州史, 大北正昭, 大木誠, 田中淳, 大槻和志, 黒川尊史, 木村昭彦: “自律移動ロボット DREAM-3 の障害物回避のためのファジィルールのチューニング”鳥取大学工学部研究報告第 36 号(2005).
- [12] Jun Tanaka, Masaaki Ohkita, Ryousuke Tamanaha, Masaki Okugumo, Akihiko Kimura, “Traveling control of the autonomous mobile wheel-chair DREAM-3 considering correction of the initial position ”, Proc. Of MWSCAS2004(47th Midwest symposium on Circuits & Systems), CD-ROM, III-215. (2004).
- [13] 黒川尊史, 奥雲正樹, 横田州史, 大北正昭, 大木誠, 田中淳, 大槻和志, 木村昭彦: “車椅子型自律移動ロボット DREAM-3 のブレーキ機能を考慮した走行制御”, 電気学会, 全国大会 3-048, 大阪大学, (2005).
- [14] T.Kohonen: Self-Organizing Maps(2nd ed), Springer-Verlag, (1997).
- [15] G.N.Nyakoe, A. Fukushima, T. Sasaki, T. Takeuchi, M. Ohki and M. Ohkita, : ”Mobile robot localization through Region based Representation in Indoor Environment using Self-Organizing Map”, Proc. 46th Annual Conf. of the Institute of System, Control and Information Engineers (ISCIE), pp.229-230, Kobe, Ma 15-17,(2002).
- [16] 徳高平蔵, 大北正昭, 藤村喜久郎: SOM とその応用, シュプリンガー・ジャパン出版 (2007.7) .
- [17] 島崎尚史, 白川浩章, 横田州史, 大木誠, 大北正昭: “自己組織化マップを用いた車椅子型移動ロボット DREAM-4 の走行制御に関する研究”, 自己組織化マップ(SOM)研究会, pp.31-34, (2007).
- [18] 島崎尚史, 瀬木寛人, 松浦弥三郎, 大北正昭: “トラス型自己組織化マップのための追加学習法の提案および検討”, 自己組織化マップ(SOM)研究会, (2006).
- [19] 白川浩章, 横田州史, 上田宙史, 島崎尚史, 大木誠, 大北正昭: “学習機能付き半自動車椅子ロボット DREAM-4 に関する研究”, ファジィシステムシンポジウム FSS2007.
- [20] 境 優一, 櫻木 隆史, 大木誠, 大北正昭: “画像情報のコード化による自己組織化マップを用いた障害物認識法の改善”, ファジィシステムシンポジウム FSS2006.
- [21] Masaaki Ohkita, Yoshinobu Sugano, Tomoyuki Miyano, and Makoto Ohki :”Obstacle detection by pattern matching of image templates based on the self-organizing,” J. of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.16, No.5, pp.463-471(2004).
- [22] 美馬一博, 金森哉史, 梶谷誠, 明愛国: ”偏向フィルムを用いた移動ロボット用ランドマークシステムの開発”, 日本ロボット学会誌 Vol.16, No.4, pp.518-526(1998).
- [23] 鳥取大学地域共同研究センター編: 鳥大発 科学って何—サイエンス・アカデミーへのいざない—, (2007.3) .

(受理 平成 19 年 10 月 12 日)