

高齢社会におけるロボットによる生活支援技術

松本潔、石川勝、稲葉雅幸、下山勲

東京大学IRT研究機構

1. 高齢社会の課題

日本を例に挙げて、高齢社会の課題を論じる。2005年に日本の総人口は約1億2800万人とピークを迎え、その年から減少に転じている。2050年には総人口は約9000万人と、3000万人以上減少すると予測されている(国立社会保障・人口問題研究所の試算)。日本の総人口の4分の1が失われることは、社会構造を大きく変化させる必要に迫られる。人口構成で見ると、高齢化率(65歳以上の人口が、全人口に締める割合)は2005年の20.1%から2055年には約40.5%へと倍増する。日本の高齢化は急激なスピードで進んでおり、早急に課題解決手段を講じる必要に迫られている。

しかし、こうした傾向は日本だけの問題でなく、他の先進国、新興国においても同様である。多くの国が日本の後を追うように高齢化を進展させることが予測されている(国連「World Population Prospects: The 2006 Revision」^[1])。2005年時点の日本の高齢化率は20.1%であるが、イタリア19.7%、ドイツ18.8%、スウェーデン17.2%など、多くの先進地域ですでに高齢社会となっている。アジア諸国でも高齢化は進んでおり、今後中国、韓国、タイ、シンガポールなどで急速な高齢化が進行することが推計されており、2050年には20%を超える高齢化率になる。

高齢化の原因には少子化が影響している。日本は第二次大戦後に4.5を上回る出生率を記録し、ベビーブームが起きたが、その後出生率は継続的に低下し、2005年に1.26を記録した。翌年以降、僅かに上昇したものの現在でも1.4以下の状態が続いている。日本では、こうした極端な出生率の変化によって世代間の人口差が大きく生じたため、急速な高齢化を迎えることになった。

高齢化の進行は、死亡率が出生率を上回ることによる人口の減少、人口構成における高齢者率の増加、独身世帯や高齢者世帯など家族構成の変化、の3つの問題が生じる。それぞれの変化に伴う問題点について、以下に述べる。

【人口減少に伴う労働力不足の深刻化】

日本を例にとると、高齢化における人口減少に伴い、労働力は現在の6,657万人から2030年には5,584万人へと、僅か25年間で約1,100万人も減

少することが予測されている(厚生労働省雇用政策研究会推計)。人口も一体的に減少するので労働力不足はそれほど深刻ではないとの意見もあるが、既に存在する社会インフラを維持し、産業の国際的な競争力を保ち続けるためには、一定数の労働力は不可欠である。さらに、これほど大きく急激な労働力の変化は、労働力の需給バランスを崩し、単純作業、低賃金労働分野において深刻な労働力不足を招く危険性をはらんでいる。

外国から一時労働力を受け入れるという選択肢も有効な解決策として考えられるが、日本は同一の社会習慣を重視する国民意識が根強く、外国人を介護など家事労働に迎え入れることには抵抗感が大きい。

【高齢者率増加に伴う健康不安、生きがい喪失、社会保障費増大】

高齢者率の増加によって、個人や家庭では健康不安や生きがい喪失などの問題が、社会全体では医療費や社会保障費負担の増大などの問題が顕在化する。日本の場合、要支援・要介護者の増加が現状のまま推移した場合、2025年にはその数が708万人へ達し、介護給付費は2005年の5.7兆円から2025年には10.8兆円と、約5兆円増大すると試算されている。

【世帯構成の変化に伴う介護負担、家事負担の増大】

日本では、高齢者が世帯主の世帯に注目すると、2005年には1,355万世帯だったものが2030年には1,903万世帯へと増加し、うち高齢単独世帯は2005年には387万世帯だったものが、2030年には717万世帯に増加すると見られている。こうした単独世帯や高齢世帯の増加と要介護者の増加により、家事や介護が大きな負担となる世帯が今後も増え続けると考えられる。他方で、現役世代の労働力率は依然として減少傾向にある。高齢社会では専業主婦や元気な高齢者の労働参加が必要とされるが、単独世帯や高齢世帯の増加にともなう家事や介護負担の増大がブレーキとなることが懸念される。

2. 高齢社会の支援技術

生活支援技術の領域として、人口減少に伴う労働力不足の深刻化に対しては「労働支援」、高齢者率増加に伴う生きがい喪失や社会保障費増大に対しては「健康生きがい支援」、世帯構成の変化に伴う介護負担や家事負担の増大に対しては「家事介護支援」、の3つが挙げられ

る。これらの3つの領域において、具体的なタスクとそれを支える技術を俯瞰した（図1、図2）。

労働支援については、産業分野別にその広がりを整理した。第1次産業では、農業での耕地、草刈り、収穫など、林業では不整地での木材運搬、枝打ちなど、水産業では魚群探知、魚種選別、漁網修理などに支援技術を活用することで人手不足の解消や重作業負担の軽減、作業の効率化などが実現する。第2次産業では、鉱業や建設業での無人重機、鉄骨組み立て、塗装など、製造業ではセル生産、医薬品や食品の製造、作業者のパワーアシスト、技能支援など、鉱業製品の製造以外の分野に広く普及することが可能となる。第3次産業では、オフィスでの集配・配送、流通業での商品補充、開梱作業、ゴミの回収や分別、接客対応や低侵襲検査などに支援技術を活用することで、人がより創造的な作業に従事できるようになる。

健康生きがい支援については、要介護度を用いてユーザの健康状態別に支援技術の活用領域を整理した。元気な高齢者については、外出や交流支援など社会とのつながりを保つことの支援と日常的な生体データの測定による健康維持など、生きがいの創出と健康維持において支援技術が役割を發揮することができる。障害度の比較的低い要支援者については、立ち上がり支援や着座支援、人や出来事の思い出し支援など日常生活を支援する。何らかの支援が必要なものの自力で外出や日常生活が可能なユーザには、歩行支援、移乗支援、自律移動車いす、食事支援、入浴支援などによって患者の行動範囲を拡大するとともに介護支援者の負担軽減をはかることができる。立ち上がりや排泄、食事がほとんど困難な状態のユーザには、物の取り寄せや発話支援、褥瘡防止のための体移動支援、排泄支援などによって、患者の辛さや不便を軽減することが可能となる。

家事介護支援については、作業分野別に整理を行った。食事においては、配膳・下前、食器洗い、冷凍食品の解凍など、洗濯では洗濯機の操作や洗濯物干し、取り込み、アイロンがけ、畳んで収納など、掃除・片付けでは、掃除機の操作、拭き掃除、掃き掃除、雑草取り、部屋の片付け、ごみ捨て、ベッドメイキングなど、育児では、おむつ交換、育児コミュニケーション、見守りなど、介護では、食事、着替え、移乗、清拭、入浴などの作業においてIRTを活用することが可能であり、家事や介護の負担を大きく軽減することができる。

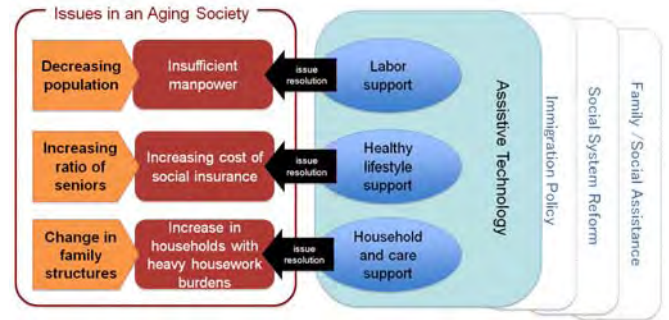


Fig. 1. Issues of an aging society

これらのタスクをIRTによって実現することによって、高齢社会が招く人口減少、高齢者率の増加、世帯構成の変化というマクロな課題の解決に大きく貢献できる。しかし高齢化社会の特徴として、個人や家庭に特に大きな負担がかかるといったミクロな課題を持つことから、高齢者とその家族の生活の質（QOL）の低下を防ぎ、こうした課題をより早期に克服するために、「健康生きがい支援」「家事介護支援」の2分野に焦点を当て、潜在ニーズの分析を行った。

【高齢者の自立生活の促進】

Labor support		Healthy lifestyle support		Household and care support	
Primary industry	(Agriculture) Plowing/cutting grass/gathering crops	Healthy seniors	Maintenance of physical functions/illness prevention	Meals	Cooking
	(Forestry) Movement over uneven land/afforestation/ branch cutting		Interaction support		Cooking frozen and retort foods
Secondary industry	(Fisheries) Fishing, nets, aquaculture, processing	Persons requiring support	Illness diagnosis support	Laundry	Setting and clearing the table
	(Mining) Excavation, transport		Basic movements support for persons with slight limitations to limb movement; e.g., rheumatism or arthritis		Washing dishes
Tertiary industry	(Construction) Civil engineering, construction, internal and external fittings	Persons requiring care: levels I to III	Support for persons with forgetfulness	Cleaning and tidying up	Laundry
	(Manufacturing) Transport, parts sorting, processing/ assembly, inspections, packaging *Excluding so-called "manipulation-type" industrial robots		Walking support (difficult to walk with complete independence, but can walk with support)		Drying and bringing in laundry
	Collection/transport (office buildings, etc.)		Support in moving/going outside		Ironing
	Product management		Eating support		Folding laundry
Tertiary industry	Cleaning (offices/commercial facilities/hospitals/ outdoors)	Persons requiring care: levels IV and V	Bathing	Child care	Putting away laundry
	Garbage collection (household, office, factories, shops, industrial waste, intermediate processing plants, incinerators, landfill sites)		Waste management		Vacuuming
Tertiary industry	Maintenance (roads, equipment and	Persons requiring care: levels IV and V	Picking up objects	Long-term care	Wiping and washing
	aircraft, overhead lines, levies)		Communication support		Sweeping (inside and outside)
Tertiary industry	Security/crime prevention (buildings, commercial facilities)	Persons requiring care: levels IV and V	Body movement support	Long-term care	Weeding
	Reception/inducement (commercial shops/facilities)				Tidying rooms / Making beds
Tertiary industry	Medical (tests)	Persons requiring care: levels IV and V		Long-term care	Throwing away garbage
					Holding individuals for meals, changing, and rolling over in bed
Tertiary industry		Persons requiring care: levels IV and V		Long-term care	Movina to and getting on and off of
					Bathing
Tertiary industry		Persons requiring care: levels IV and V		Long-term care	Putting on and taking off clothes, giving sponge baths
					Watching over seniors
Tertiary industry		Persons requiring care: levels IV and V		Long-term care	Changing diapers

Fig. 2. Overview of specific tasks and supporting technologies

高齢者の自立生活の支援については、一人ひとりの自立生活の能力にさまざまなレベルがある、という点に留意が必要となる。自立生活に関係しているものの基本要素でありながら高齢者の中で最もレベルのばらつきが大きいもののひとつに、移動の能力がある。IRTは、従来は困難であったばらつきの大きい一人ひとりの移動能力に応じた高度な移動手段を提供することにより、高齢者の自立生活を支援できるようになると期待できる。

まず、自動車を利用してきた高齢者にとってみると、交通網が発達した首都圏などを除けば自動車による移動をやめてしまうと社会生活の範囲は大きく制約を受ける場合もあり、これが外出への意欲の妨げになる。それまでの日常生活と同等のレベルを維持する高度なモビリティの確保が、活発な社会活動を支援する上で極めて重要な手段となる。しかし、現在の技術では高齢者の自動車事故を防止する手段は限られており、自動車に代わり自動車同等のレベルのモビリティを維持することは困難である。

他方、車いすの利用開始の要因には、身体支持・運動機能などの連続的な衰えもあれば、脳血管障害による麻痺などの非連続なものもある。車いすで公共の交通網を利用しようとしても、未だ完全なバリアフリー化は望める状況にはなく、また支援者なしの電動車いすによる移動では転倒事故を未然に防げないなど多くの制約がある。より移動能力の限られた要介護者の場合には、家庭内や介護施設内での多少の移動にも、介護職員や家族の支援を借りることが必要なうえ、特に在宅の場合、家屋内や玄関先にバリアフリー化が施されているとは限らない。

このように高齢者がそれぞれ異なったレベルで制約下に置かれた状況を解消する、スケーラブルな解決策を実現、提供することにより、高齢者が人生で築いた豊かな社会生活の広がりを持続し、新たな生きがいを発見することができるようになる。

【支援者（介護職員等）の間接業務の軽減】

支援者（介護職員等）の間接業務の軽減は、支援提供者が直接的な身体介助にいつそう集中できる環境を創出し、介護業務を円滑化する役割を果たすと期待できる。

第1に、調査からも確認されたようにベッドメイキングや洗濯（仕分けや収納まで含む）、食事の後片付け、居室空間の清掃や除菌消毒など衛生面に関わる業務などが挙げられる。現在、これらの業務は介護職員自身が介護業務の一環として実施している場合も多く、介護職員に多忙を強いる要因となっている。また、介護施設における就寝中の見回りや体調変化の見守りなどの深夜業務の軽減ができれば、高齢者ケアに携わる支援者の心理的ストレスの軽減に結びつく可能性が高い。

これらの間接業務を担うアシスタントロボットが導入されることにより、高齢者支援に携わる専門的な能力を有する人材が、支援を必要とする高齢者に対して、本来のきめ細やかな介護サービスを提供できるようになると期待される。

第2に、介護業務の円滑化に関連し、介護職員の負担感を軽減するためには「作業の集中」状態をなるべく作らないことが重要であることも判明した。特に、施設介護における車いすによる居室から食堂（ホール）への一斉誘導や排泄誘導などに対する効果的な解決策が必要となる。要介護者自身と介護提供者の腰や身体に負担をかけないモビリティの実現は、ここでも大きな役割を果たすと考えられ、これらの実用化により、支援者（介護職員等）の間接業務負担は大きく軽減されるようになる。

【家族の家事負担軽減と社会参加の維持】

高齢者を抱える家族に対する支援としては、施設介護における比較的行き届いた介護レベルに劣らない在宅支援や地域の介護サービスとの連携を装備面・環境面から支援することが重要である。さらに、介護を必要とする家族がいても就業や社会参加を維持できるようなバックアップ機能を提供することも重要となる。

先述のようにデイサービスやショートステイは在宅での家族の負担の軽減にも大きな役割を果たす。これらの地域介護サービスとの連携には、福祉車両にもそのまま自動で乗り込める機能を備えたモビリティの役割が大きく、このようなモビリティが実現すれば地域と自宅を直接的に結びつける新しい移動システムとして期待できる。

また、除菌・清掃、体調チェックや見守り、必要なモノの手元への取り寄せ、日課・記憶の思い出し、食事の後片付けなど、空間・対象物の把握などの情報提示による対話的支援と物理支援を緊密に組み合わせた支援技術の実現により、プロによる支援が受けられない時間にも、基本的な支援環境を維持することが可能になる。

さらに、離れて暮らす家族が遠隔から高齢者が必要とするモノを取り扱うなど、従来の情報のみによる支援を超えた支援を提供することにより、介護の自由度を大きく広げ、家族の社会参加を妨げない環境が実現するようになる。

以上の分析をふまえて、高齢社会の課題解決に特に大きく貢献できる支援技術として、バリアのない安心・安全な移動を支援するパーソナルモビリティロボットと、家庭内活動の生産性を向上させるアシスタントロボット、および快適な生活を実現する思い出し支援システムをターゲットとして、必要な要素技術の研究開発をおこなうこととした。

3. パーソナルモビリティロボット

パーソナルモビリティロボットは、移動について構造的あるいは年齢的なバリアを取り除き、安全な移動を提供するものである。屋内・屋外において、誰にとっても安全・安心な移動機能を実現する必要がある。

開発したパーソナルモビリティロボットの外観を図3に示す。搭乗者に負担をかけず、日常生活空間のような

狭かつ路面が滑らかでない空間を走行可能とするために、着座型の倒立二輪移動機構を採用した。倒立二輪移動機構を用いることで座席の姿勢が機体の倒立を保てる範囲に常に保持されることになり、着座方式であることも含め、搭乗者の負担がより削減される。また接地輪が2つの動輪のみであるため、機体が占有する床面積を削減することができ、原理的に小型化が可能となる。一方着座型の倒立移動体では倒立後に搭乗することは困難であり、非倒立状態で乗り込んだ後立ち上がるための機構が必要になる。PMRでは1リンクからなる脚車輪機構と座席下に取り付けられたスライダを組み合わせることによって重心をタイヤ直上に保持することによって安定した立ち上がりを可能としている。

【パーソナルモビリティロボットの技術】^{[2][3]}

パーソナルモビリティロボットに要求される機能として、倒立二輪型モビリティとしての「安定走行機能」、障害物や歩行人を認識する「安全確保機能」、指定された場所まで自動で移動する「自律移動機能」を想定し、それを実現するための要素技術の研究を行った。

「安定走行機能」は、様々な路面状態や床材質でも安定で倒れることがなく、片輪が乗り上げた状態や斜面でも座面を水平に保つ機能である。この機能を実現するための要素技術として、倒立二輪制御および操縦インタフェースの研究を行った。パーソナルモビリティロボットは、脚車輪とスライダから構成される立ち上がり機構を備えている。左右の脚車輪を独立に上下させることによって左右方向の水平を保つことも機構的に可能である。

この機構を制御するために、タイヤ、スイングアーム、シートスライダのすべてを三次元物理モデル化し、このモデルと最適レギュレータ理論を用いて制御系を設計した。その結果、人のお搭乗の有無にかかわらず、安定した倒立二輪への立ち上がり、スラローム走行、20mmの段差乗り越え、高低差50mmの波状路走行が可能となった。図4は、高さ50mmの片スロープ乗り越えの様子である。操倒立二輪型のモビリティでは、加減速の



Fig. 3. The personal mobility robot

際の車両の前後方向の揺れや、小回りが利くため逆に方向転換に伴う遠心力の影響を受ける。そのような時でも、搭乗者の操縦意図を確実に検出するために、図5に示すパーソナルモビリティロボット用の操縦インタフェースを開発した。人間の腕の回内・回外運動を操縦に利用し、前後方向に体重を支えつつ、回動により方向を指示する。筋負担が少なく正確な操縦が可能となった。

「安全確保機能」は、路面や周囲の状態をセンシングして障害物や歩行人などを認識する機能である。搭乗者の操縦を補助する形で、危険を回避することができる。さらに自律移動機能と組み合わせることで、搭乗者も周囲も傷つけないように回避しながら走行することができるようになる。安全確保機能を実現するために、障害物認識技術を開発した。

屋内シーンにおいてはレーザレンジファインダでは脚しか見えない机や椅子をステレオカメラを用いて障害物として検出し、自己位置推定から得られる地図上に統合する技術を実現した(図6)。屋内においてはステレオカメラを用いた障害物検出が有効であるため、これを利用して水平LRFで検出できない障害物の検出を行った。屋外においてはレーザレンジファインダをモータ駆動で揺動させ、三次元復元することで障害物認識を行った(図7)。歩行人認識では、人の胸程度の高さに設定された



Fig. 4. Overcoming a slope of 50mm high



Fig. 5. Steering interface for the personal mobility robot

レーザレンジファインダを利用し、歩行者を円筒モデルとした混合パーティクルフィルタを用いて、歩行者の追跡を行った。水平な床面上で5人の歩行者の移動方向と速さを認識することができた(図8)。

「自律移動機能」は、自己位置を認識し、目的地まで自律的に移動する機能である。この機能を実現するための要素技術は、位置認識・地図作成技術および経路生成である。位置認識・地図作成技術では、屋外の多様な路面形状、照明条件下、移動障害物による環境の変化、ロボットの揺れや振動がある場合でも、安定して自己位置を推定することを目的として研究を行った。地図は複数地点からモータ駆動レーザスキャナを用いた計測を行い、計測により得られた三次元点列を計算機処理により統合し、自動でポリゴンを生成することで、高精度の三次元幾何情報を持つ地図を作成した。東京大学の59箇所計測を行い構内の三次元ポリゴン地図を作成した(図9)。

作成した地図とロボット搭載のLRFを用いて5自由度の自己位置推定実験を行い、東京大学構内の250m程の与えられた経路上のほぼすべての位置で10cm以内の誤差、一時的に自己位置を見失って30~50cm程度はずれてもすぐに経路上に戻ってナビゲーションできることを確認した(図10)。

全方位カメラのパノラマ展開画像を用い、異なる時間においての、自己位置推定実験を行った。フレーム間マッチングには輝度値そのものを用いた手法とSIFT特徴を用いた手法の両方を試し、安定した自己位置認識結果を得るためパーティクルフィルタを用いて現在フレーム位置を推定した。朝に記録した地図データに対して、昼の実験で23%、夕方の実験で40%程度画像の類似度に低下が見られたが、対応する地図画像付近で類似度が極大となる傾向はおおむね保たれることがわかった(図11)。

経路生成では、最大6km/hの速度で動くパーソナルモビリティロボットが追従可能な滑らかさを持ち、与えられた目的地へ効率的に到達する経路を生成する。屋内の平坦な環境において、歩行者の胸あたりの高さに水平に取り付けられたレーザレンジファインダを用いて、自己位置推定、障害物認識の結果を利用し、滑らかに障害物を回避し目的地へ到達する経路生成アルゴリズムを作成した。また歩行者の動きを考慮して早期に後ろ側を通る回避軌道を生成するアルゴリズムへ拡張した。回避軌道を生成するには、ロボットの移動速度に応じて人が安心感を得る距離を目安とした。

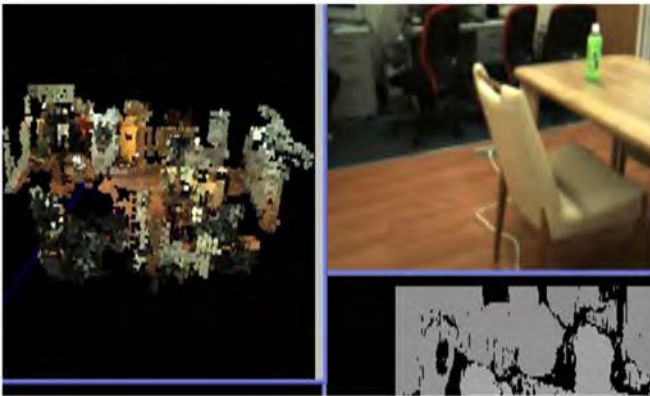


Fig. 6. Obstacle detection by a stereo camera indoors



Fig. 7. Obstacle detection by a laser range finder outdoors

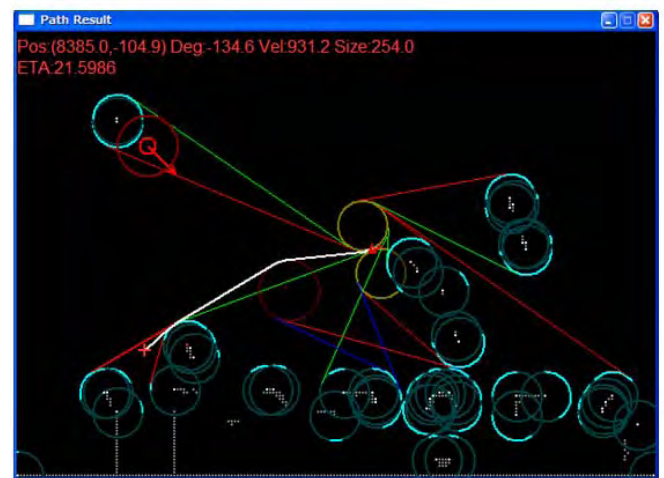


Fig. 8. Example of pedestrian tracking with his direction and speed

パーソナルモビリティロボットを半径0.6mの円で近似し、障害物をその円の半径だけ拡げて経路探索をする手法を適用した。その結果、移動障害物により経路が遮蔽された場合にも200ms以内で再計画できるようになり、パーソナルモビリティが速度1.8km/hの速度で走行しながら停止せずに障害物を回避することが可能となった。さらに、「安全確保機能」と「自律移動機能」を組み合わせることで、歩行者の歩く速さと方向を認識し、衝突しないような経路を計算し、自動的に衝突を回避することができた(図12)。

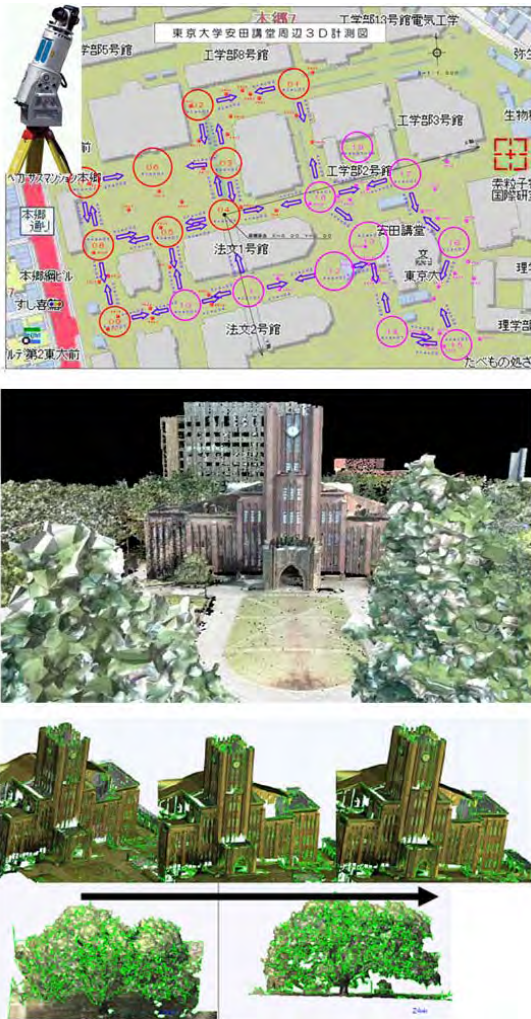


Fig. 9. High-precision three-dimensional polygon map of the university

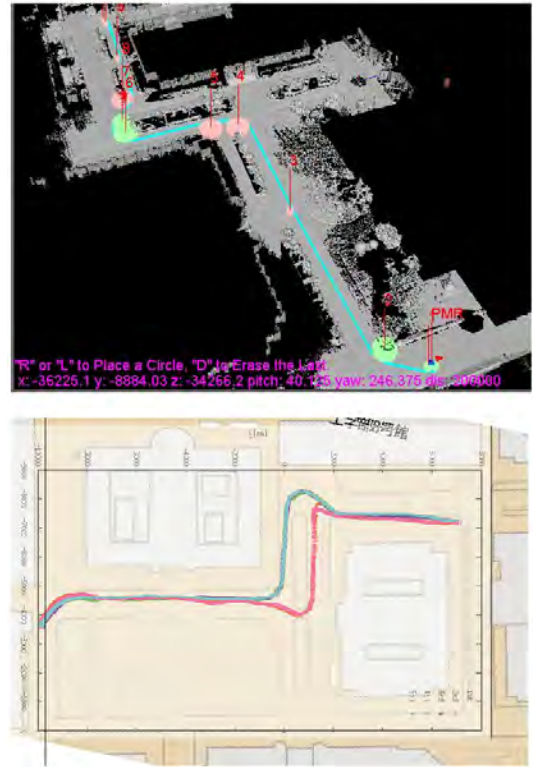


Fig. 10. Example of localization experiment using a map and a laser range finder

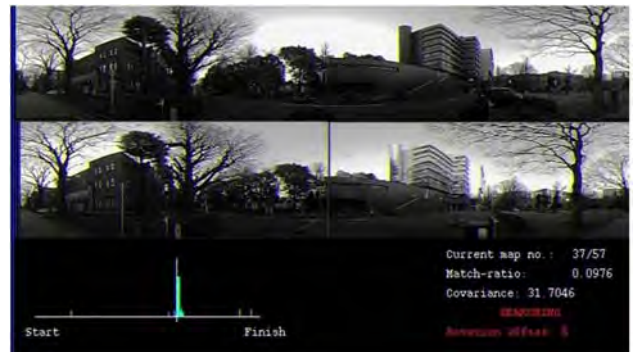


Fig. 11. Example of self-localization experiment at different times



Fig. 12. Dynamic avoidance of collision and rerouting

4. ホームアシスタントロボット

ホームアシスタントロボットは、家庭内活動の生産性を向上し、余暇を創出するものである。家庭内において食事の後片付けや掃除、洗濯物畳み・収納といった一人暮らし高齢者や在宅介護を行う家族、共働き夫婦にとって負担の多い家事を代替できるアシスタントロボットを目指す。開発した双腕型のホームアシスタントロボットの外観を図13に示す。

【ホームアシスタントロボットの技術】^{[4]-[8]}

ホームアシスタントロボットに要求される機能として、物の掴み方を理解し落とさず・壊さずに掴む「把持機能」、家電品やドアの鍵・ガス栓など家庭に備え付けられた設備、また食器を運ぶトレイやワゴン、掃除を行うための箒やモップ等を取り扱う「器具・道具操作機能」を実現するための要素技術を研究した。

「把持機能」を実現するための要素技術は、対象物の形状や材質によってどのように把持するかを決める把持戦略、衣類などの柔軟物を把持する際に必要となる不定形物取り扱い技術である。

把持戦略として、三次元形状モデルに、重さ、色等の



Fig. 13. The home assistant robot

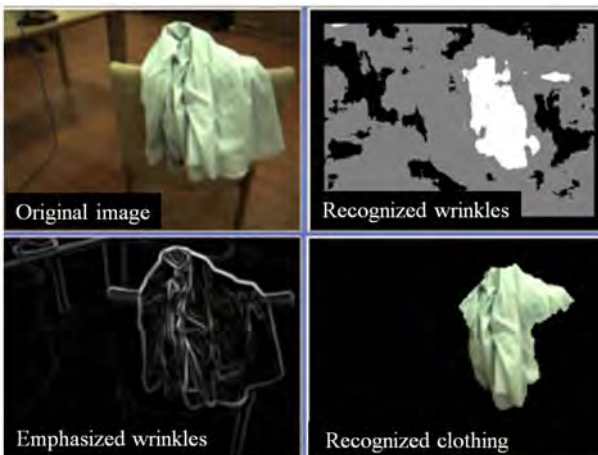


Fig. 14. Recognition of clothing by wrinkle detection

視覚情報、さらに、把持点、注視点などの情報も同時に付加するという記述方式を提案した。これにより、一つの物体モデルがあれば、視覚認識に必要な情報、ロボットの把持計画に必要な情報の双方を提供可能となる。この方式により、単純形状の物体把持を始め、後述のようなトレイ運搬、お茶そそぎといったタスクレベルの様々な物体操作が実現された。

不定形物取り扱い技術は、生活環境に存在する様々な柔軟物、具体的には衣類や紐などをアシスタントロボットが操作し、洗濯物片付けや荷物の取りまとめといった作業を達成することである。このために解決すべき課題は、操作対象の発見、操作状態の認識、ハンドリング制御技、の3つが必要である。衣類の発見では、衣類の「しわ」を画像特徴とする方式を提案し、様々な色を持つ衣類、シャツやタオルなど様々な種類の衣類にも共通して適用できる方式を提案した(図14)。

三次元視覚機能と融合することで衣類の三次元位置を特定し、収集動作へシームレスにつなげることができる視覚システムを構築した。アシスタントロボットによる実験では、屋内に置かれた衣類を見つけて掴み上げ、洗濯機へそれらを投入する動作を通して有効性を検証した(図15)。なお、ここには、多指ハンドによる柔軟物操作としての要素技術も含まれており、操作対象になじむ指の関節制御法を適用することで、イスの背もたれにかけられた衣類を、イスを動かすことなくやさしく掴みあげる動作も実現した。

「器具・道具操作機能」を実現するための要素技術は、人が使うものと同じものを扱うための器具・道具のモデル化技術、それらを動かすための器具・道具の操作技術、そして複数の動作を連続して行う際に必要となるタスクプランニング技術である。

器具・道具のモデル化技術ではこれまでに、道具の三次元形状だけでなく、可動構造・把持位置・作用位置といった機能情報表現、可動部の物理特性を獲得する方式を提案し、棒状の道具や引き出し等を操作対象として効

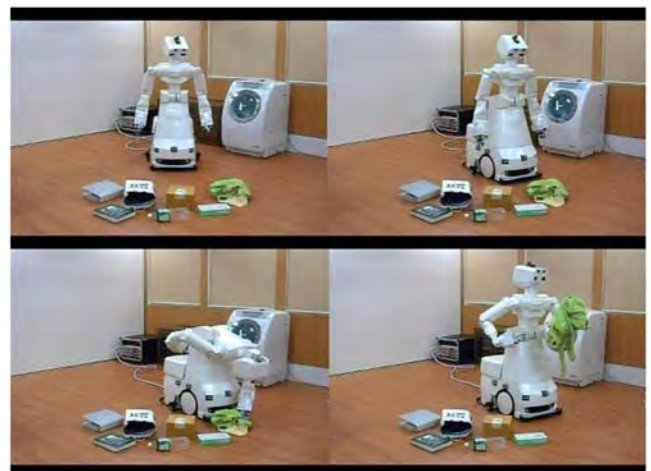


Fig. 15. Finding an article of clothing on the floor and picking it up

果を確認した。

器具のモデル化技術により、ロボットの内部で仮想的な器具操作のシミュレーションを行うことが可能になるが、実世界とシミュレーション世界を必ずしも一致させられるとは限らない。実世界で安定した器具操作機能を実現するためには、実世界の状況に即した動作の修正を行う必要がある。

そのため器具の操作技術として、ドアや引き出しなどの開閉機構を持った物体を対象とした「なじみ」動作制御、任意の方向に対する力を出力できるエンドエフェクタ制御、強化学習アルゴリズムに基づき可動部に対する拘束軌道を得る方法を研究開発した。

具体例として、開閉動作の学習獲得を行い、実機実験を通して検証を行った。環境に拘束がある家具のドアや引き出しなどについて、ロボットが試行錯誤しながらそれらの操作軌道を獲得する方式を構築した。冷蔵庫のドア（回転機構）、引き出し（直動機構）に対する開閉動作の学習獲得が可能となった（図16）。さらに、回転機構と直動を組み合わせた複雑な拘束軌道を持った食器棚の開け動作の獲得も可能であった。

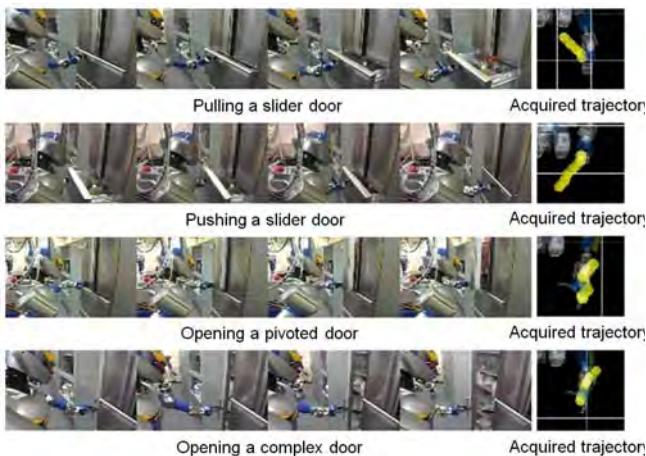


Fig. 16. Learning and acquisition experiment for opening and closing motions



Fig. 17. An experiment of continuous execution of tasks

ホームアシスタントロボットにより多種多様な日常作業をこなすためには、様々な種類の作業（タスク）を効率的に行うためのプランニング技術が有用である。それには、タスクの実行順序を決定する技術とそれぞれのタスクにおいて個々の動作を生成する技術が必要になる。ほうきを使った床掃除を例に取り、個々のタスクにおけるプランニングについて述べる。

道具の掃引面が「床面清掃」の目的を達成できるような軌道を、台車・双腕の可動性能やロボットと環境（テーブルやイス）との干渉に配慮しつつ、道具主体の動作をするための行動プランニングを行った。複数タスクの連続遂行に関する行動プランニングでは、失敗状況と回復の困難さに応じて失敗を3段階に分類し、そのレベルに応じて異なる対処行動を発動するようなタスク行動記述を行った。単純な失敗であれば行動単位を再実行し、それで回復が困難なケースでは、新たな動作を呼び出すことで状況回復を実現した。これにより、図17に示すような片づけ、掃除などの作業を連続して行うことが可能となった。

5. 思い出し支援システム

思い出し支援システムは、人の日常生活行動や身の回りの日用品の利用履歴を把握し、適切な情報提示によって思い出しを支援することで、快適な生き生きとした生活を実現することを目標としている。特に今回、家庭内の日用品を対象としてその格納場所を記憶して提示してくれる、日用品の思い出し支援システムを構築した。

【思い出し支援システムの技術】

思い出し支援システムの構成を図18に示す。天井等に設置したカメラやロボットに搭載されたカメラから、イベントをトリガーとして画像データを収集する。各画像には、画像が取得された時刻・場所等のメタ情報が付加される。さらに収集された画像に対して物体認識技術を適用することにより、個々の日用品がその画像に含まれているかどうかを判定する。この認識・判定に関わる処理は、計算機クラスタによる並列化により、オンラインで実行される。それぞれの日用品が最後に観察された場所はデータベースに蓄積され、ユーザインタフェースを介して検索可能となる。また、検索結果を画面上に表示するだけでなく、ホームアシスタントロボットによって収納場所を指差したり、屋内型パーソナルモビリティロボットで収納場所まで自動で移動することもできる。

天井カメラは、引き出しやテーブルなどの、日用品が存在しやすい場所を見ることができに配置されている。カメラには、イベント（特に動の検出）に応じて画像を取得する機能が組み込まれている。この機能を適切に用いる、例えば引き出しの開閉に合わせて撮影することにより、無駄な画像の取得を防ぎ、後段の処理負荷を軽減する。

各カメラは、非同期かつ独立に画像を取得し、ネットワークを介してカメラサーバに画像をアップロードする。カメラサーバは、屋内型パーソナルモビリティロボット、ホームアシスタントロボットが取得した画像も受け付ける。各ロボットが、適切なタイミングで画像を取得し、自己位置の情報を付加して画像をアップロードする。

画像からの日用品の認識には、代表的な画像の局所特徴であるscaleinvariant feature transform (SIFT) を用いる。図19に示すように、日用品ごとにテンプレート(対象物だけが写った画像)を用意しておく。図20に示すように、対応するSIFT特徴点を数えることによって、その日用品が画像中に存在するかどうかを判断する。この手法は、対象物の大きさ、向き、明暗の変化に対して頑健であり、画像中に同時に複数の物品が写っていても、個々の日用品を認識可能である。

オンライン処理を実現するため、PCクラスタによって計算を並列化している。現在の実装では、環境側のカメラ5台、テンプレート数42、CPU40コア構成とした場合、日用品の移動(一度の引き出しの開閉で複数の画像が取

得される)がデータベースに反映されるまでに、約15秒を要する。しかし計算機の進歩に従って、処理時間は短縮されると予測される。

検索インタフェースを図21に示す。右側の画面で日用品を選択すると、即座に、左側の三次元マップ上にその日用品の場所がアニメーション表示される。同時に、ロボットへのタスクが発行され、ホームアシスタントロボットによる指差しや、屋内型パーソナルモビリティロボットによる収納場所への移動が実行される。

6. 結言

日本をはじめ世界の多くの国々が直面しつつある高齢社会では、低出生率に伴う人口減少、高齢者率の増加などの人口構成変化、独り暮らし世帯の増加などの家族構成の変化が課題となる。社会や家庭の生活水準維持のためには効率化が必要であり、産業用ロボットがなしてきた

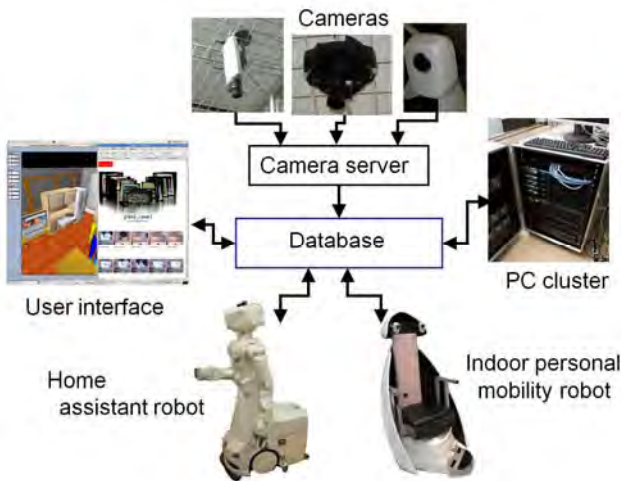


Fig. 18. Configuration of the memory support system

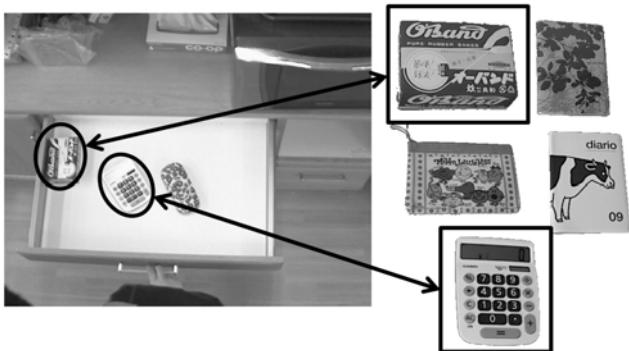


Fig. 19. Templates for commodities with their individual images

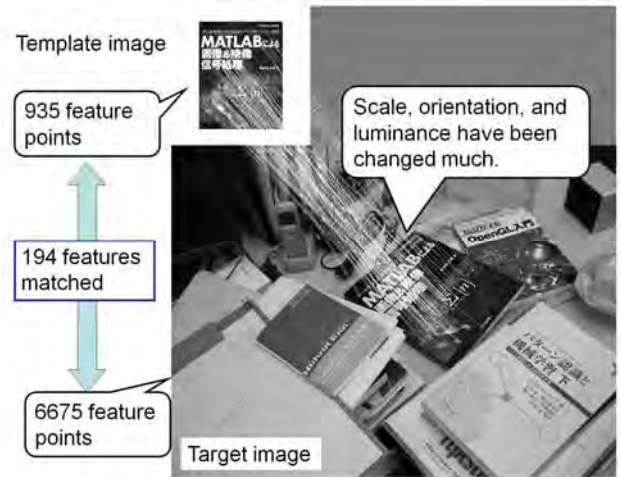


Fig. 20. Example of corresponding SIFT feature points

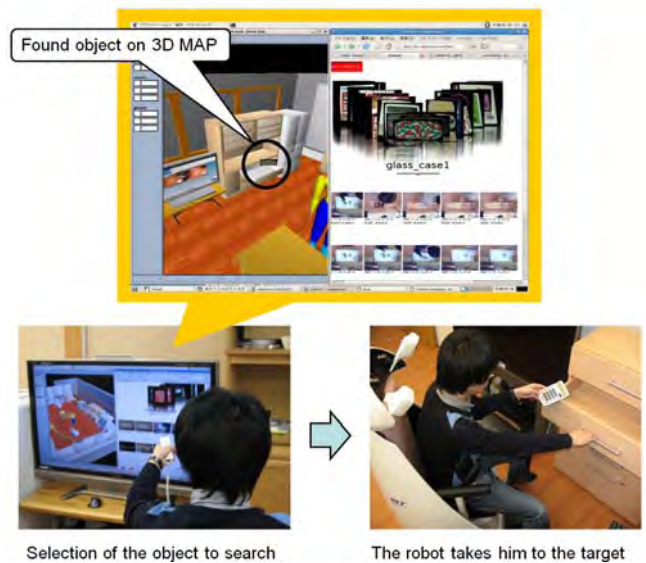


Fig. 21. User interface and cooperation with the robots

のと同様に仕事のスマートな機械への仕分けが必要である。そのため、ロボット技術を活用した、人の活動を助ける支援技術の実現が急務である。高齢社会の課題解決に特に大きく貢献できる項目として、移動技術、物を扱う技術、認識・情報化技術をコア技術として、バリアのない安心・安全な移動を支援するパーソナルモビリティロボット、家庭内活動の生産性を向上させるホームアシスタントロボット、および快適な生活を実現する思い出し支援システムを提案し、技術開発を行った。今後これらの技術を発展させ実用化を行うことで、高齢社会でのイノベーションが期待される。

REFERENCES

- [1] The U.N., " World Population Prospects: The 2006 Revision." 2009
- [2] Satoshi Kagami, Ryo Hanai, Naotaka Hatao, Masayuki Inaba, "Outdoor 3D Map Generation Based on Planar feature for Autonomous Vehicle Navigation in Urban Environment," in Proceedings of The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1526--1531, 2010.
- [3] Naotaka Hatao, Ryo Hanai, Kimitoshi Yamazaki, Masayuki Inaba, "Real-Time Navigation for a Personal Mobility Robot in a Environment with Pedestrians," in 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp.619--626, 2009.
- [4] M. Inaba, K. Okada, T. Yoshikai, R. Hanai, K. Yamazaki, Y. Nakanish, H. Yaguchi, N. Hatao, J. Fujimoto, M. Kojima, S. Tokutsu, K. Yamamoto, Y. Kakiuchi, T. Maki, S. Nozawa, R. Ueda, I. Mizuuchi, "Enhanced Mother Environment with Humanoid Specialization in IRT Robot Systems," in Cedric Pradalier and Roland Siegwart and Gerhard Hirzinger (Eds.): Robotics Research: The 14th International Symposium ISRR, pp.379--396, Springer, 2011.
- [5] Kei Okada, Mitsuharu Kojima, Yuichi Sagawa, Toshiyuki Ichino, Kenji Sato, Masayuki Inaba, "Vision based behavior verification system of humanoid robot for daily environment tasks," in 2006 6th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2006), pp.7--12, 2006.
- [6] Kei Okada, Mitsuharu Kojima, Satoru Tokutsu, Yuto Mori, Toshiaki Maki, Masayuki Inaba, "Task Guided Attention Control and Visual Verification in Tea Serving by the Daily Assistive Humanoid HRP2JSK," in Proceedings of The 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1551--1557, 2008
- [7] Kimitoshi Yamazaki, Ryohei Ueda, Shunichi Nozawa, Yuto Mori, Toshiaki Maki, Naotaka Hatao, Kei Okada and Masayuki Inaba, "Tidying and Cleaning Rooms by a Daily Assistive Robot -- An Integrated System for Doing Chores in Real World --," Journal of Behavioral Robotics, Volume 1, Number 4, 231-239, 2011.
- [8] Kimitoshi Yamazaki, Masayuki Inaba, "A Cloth Detection Method Based on Wrinkle Features for daily Assistive Robots," in IAPR International Conference on Machine Vision and Applications, pp.366--369, 2009.