社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2007－DBS－141 (31)
2007－GN－ 62 (31)
2007／1／26

位置情報を用いた集団協調作業支援エージェントシステム

米陀政人† 小泉寿男† 澤本 潤††
†東京電機大学 理工学研究科 情報システム工学専攻
††岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

近年，モバイル端末の高機能化，モバイルネットワークの普及，位置測位技術の発展により，モバイル端末は幅広い分野で利用されている．新たなサービスである位置情報を利用した動的な情報提供の研究が活発に行われている．個人支援が主流であったが，集団協調作業支援のような集団支援も研究され始めている．集団協調作業の場合，新たな作業や問題に対して，柔軟に作業者同士が連携する必要がある．しかし，作業者同士が連携する場合，互いの状況を知る必要がある．離れた場所で活動する場合，互いの状況を確認することは難しく，時間を要する．この課題を解決ためにに，マルチエージェント技術を使い，新たな作業や問題に対して柔軟に対応できる作業分担機能を提案する．

An agent system for supporting cooperative group work using location information

Masato Yoneda† Hisao Koizumi† Jun Sawamoto††
†Department of Computers and Systems Engineering
Graduate School of Science and Engineering
Tokyo Denki University
††Faculty of Software and Information Science Iwate Prefectural University

Recently, mobile terminals are used in various fields because of their high performance, diffusion of mobile networks, and development of positioning technology. Dynamic information services based on location information is lively studied. Personal support was the mainstream, but group support such as cooperative group work begins to be studied. When a group works cooperatively, members have to cooperate flexibly for new tasks and problems. However, when the members cooperate mutually, it is necessary to know the situation of each other. When members are working in remote places, it is difficult and time consuming to confirm the situation of each other. To cope with the problem, we propose a function for sharing works flexibly for newly given tasks and problems using multiagent technology.

1. はじめに

近年，モバイル端末の高機能化，モバイルネットワークの普及，位置測位技術の発展により，モバイル端末は幅広い所で利用されている．特に，携帯端末とGPSを利用した位置測位技術では，誤差数mから数10m程度で把握できる[1]．位置情報はその対象となる物や人の状況を知る重要な情報である．そのため，位置情報は，さまざまなサービスに適応され始めている．現在良く知られているサービスとして，auのEZナビウォークなどがある．EZナビウォークは，GPSとcdmaOne基地局による測位システムを組み合わせたシステムである．その他にも，位置を利用した動的な情報提供の研究がされている[2]．携帯端末のネットワークや位置情報を利用した研究では，個人への支援やサービスの研究が多いが，近年では，これらモバイル端末の利点を活かして，集団協調作業支援に利用したサービスの開発や研究が進んでいる[3]．集団協調作業は，複数の集団が同じ目標を互いに相互作用を持ちながら効果的に行う作業である．グループ単位で作業場所が割り当てられ，その中で相互作業を持ちながら作業を行う．集団協調作業には，調達活動，営業活動，探索活動，保守活動等がある．これらの活動では，各作業ともに限られた人員，時間，費用の中で，最大の効果(売上向上，業務の効率化，顧客満足度の向上)を上げることを目標としている．集団協調作業の支援では，情報共有やスケジュール共有などが行われてきた．このような支援は集団協調作業支援には必要なサービスである．しかし，これだけでは，集団協調作業は効果的に行うことは難しい．それは，実際の作業では，各作業者の作業が計画通りにはいかないことや新たな作業の発生などが起こる．このような場合，適切な作業分担が必要である．実際の作業中にスケジュールや情報共有サービスを利用して作業者が作業分担することは，集団(組織)の活動者が互いに離れ

ている場合，互いの動作状況がわかりにくく，困難であると伴に，作業に集中できないため，作業効率の低下を招く．実際の作業中に作業分担を行うためには，作業者の意思や状況を考慮して交渉する必要がある．実際の作業中にこのような交渉を行うことは，作業者の負担が増え，作業者の作業効率を下げる恐れがある．これらの課題を解決するためにモバイル端末の位置測位技術とエージェント技術を用いて，各作業の作業状況の把握を行い，作業効率向上を目指した作業分担をマルチエージェントの特徴である交渉機能により実現する．

本研究では，集団を構成する各役割にエージェントを置き，作業者の状況に合わせた作業分担機能を実現する．機能実現に当たり，協調型マルチエージェントシステムにおける問題割り当て手法である契約ネットプロトコルを拡張し，作業分担機能を実現する．これらより，移動を伴う集団協調作業を効果的に行うためのマルチエージェントシステムを実現する．

2．集団協調作業支援

2．1　作業分担機能概要

本研究では，離れた場所で活動する集団が効果的に目標を達成することを目指している．これらの目標は，各作業ともに限られた人員，時間，費用の中で最大の効果を出すことを目標としている．そのために作業分担機能を実現する．作業分担は従来マスタスレーブ型により管理者によって一方的に作業が割り振られ，作業者の状況に合わせた作業分担が困難であった．この問題の解決に，エージェント技術である契約ネットプロトコルを利用し，作業者自ら応募して作業を取得する．これより，作業者の状況に合わせた作業が行うことができる．しかし，作業に応募がない場合は，空き作業になり，作業が割り振られない．グループ全体の活動に大きく影響するような作業が行われなかった場合，グループ全体の目標を達成することは困難になる．この問題を解決するために，契約ネットプロトコルに強制的に作業を割り振る機構を加え，作業者やグループ全体の目標を達成する作業割り当て方法を提案する．本研究におけるシステム構成を図１に示す．

本研究のグループの構成として，作業管理者と作業者の立場に分け，各立場に応じたエージェントが支援を行い，これらの機能を実現する．作業者は，移動を行い，各作業場所で作業を行う．作業管理者は，各作業の作業状況などを知ることで，現在のグループ状況を把握し，グループ全体の目標を達成するための支援を行う．各作業者には，各エージェントが支援を行う．各エージェントの相互通信を実現し，双方がメッセージをやり取りすることで，作業場所が異なる状況や実際の作業中でも，作業状況を確認し，作業分担機能を実現することができる．エージェントの構成や本研究手法である作業分担機能について説明する．

2．2　エージェント構成とエージェントの特徴

グループ構成として，作業管理者と作業者に分けられる．作業管理者は，グループを構成する作業者を統率して，グループ全体の目標を満足させるために作業者間の連携の支援や，最適なグループ構成を考え，活動する．作業者は，実際に活動し，作業者自身に与えられたスケジュールに沿って活動を行い，自身の目標を達成する．このように各立場によって仕事が異なり，エージェントの支援方法も異なる．よって，本研究では，作業管理者を支援するエージェントを作業管理エージェントと呼び，作業者を支援するエージェントを作業エージェントと呼ぶ．特徴を以下に示す．

①作業管理エージェント

グループの作業実績を管理し，その情報からグループに属する作業者への支援を行う．また，各作業者の位置情報や作業実績を管理することにより，全体の目標を達成するための，作業分担を作業エージェントと交渉を行い，実現する．

②作業エージェント

作業者のスケジュール管理や作業実績，位置情報を管理し支援を行う．作業者の作業負担軽減のため，負担になる作業の分担や，新たな作業を取得することにより，作業者の作業実績を向上させる．

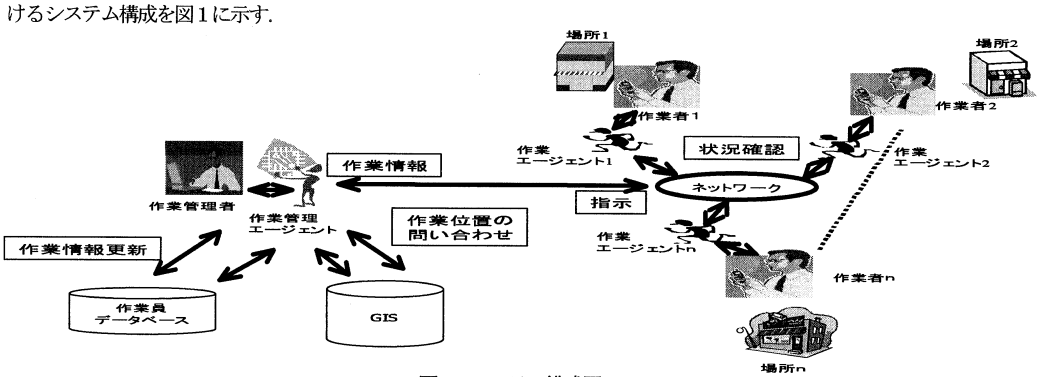

図１　システム構成図

3．　作業分担機能

3．1　作業分担方式

作業分担機能は，問題や新たな作業が発生した場合に，適切に作業分担を行い，グループの作業進捗度や作業者のグループへの貢献度を向上することを目的としている．本研究では，作業分担方式として契約ネットプロトコルのタスク割り当て方法を拡張して用いる．契約ネットプロトコルでは，タスク告知，入札，落札の3種類のメッセージをエージェント間でやり取りすることによって作業が行われる[4]．この手法を，協調作業の作業分担機能で考えると，新たな作業や問題が発生し，それに対する作業の依頼，作業依頼に対する応募，作業受託という流れで行なわれる．手順の詳細を以下に示す．

①作業依頼

作業を持つマネージャ(作業エージェントまたは作業管理エージェント)は，その作業概要，作業資格，応募制限(作業者の位置や作業実績)，応募期限，を作業依頼メッセージにより他の作業エージェントに送信する．

②作業応募

応募者(作業エージェント)は受け取った作業依頼メッセージの中から実行可能なものに対して，応募者概要を記述した応募メッセージをマネージャのエージェントに送信する．

③作業受託

マネージャは応募期限時刻までに受け取った応募メッセージの中から最も適したものを選択し，作業委託メッセージを用いて作業を作業受託した作業エージェントに割り当てる．これにより，マネージャと応募者の間で契約が成立する．

契約ネットプロトコルの利点として，応募制度を設けたことにより，作業者に作業を受託するか，しないか相互選択できるため，ある程度対等な立場で作業を分担することが可能である．固定的なマスタスレーブの関係であると，一方的に作業が割り振られ，作業負担を招く．これより，契約ネットプロトコルを用いると相互選択機構が働くので，作業者の作業負荷を考えた作業分担を実現することができる．しかし，グループ全体の目標に関わる作業が生じ，作業依頼への応募者がいない場合，その作業が影響を及ぼし，グループ全体の目標達成が困難になる場合が考えられる．この場合，落札に関わらず，作業を割り振らなければ，全体の作業に関わるため，作業の重要度を考慮して強制的に作業を割り当てる機構が必要である．本研究では，契約ネットプロトコルの相互選択機構と作業の重要度を考慮した作業割り当て機構を実現する．これにより，グループ全体や各作業者の状況を考えた作業分担を実現する．本研究では，グループを管理する作業管理エージェントが，強制的に作業を割り当てる役割を担う．

従来の契約ネットプロトコル①から②までの工程で，該当者がいない場合，以下の手順を付け加え，作業の割り当てを行う．

①作業依頼の抽出

応募がなかった作業を持つマネージャは，応募がなかった作業依頼メッセージを抽出する．作業管理エージェント自身がマネージャになる場合があるので，その場合は作業管理者エージェントに作業依頼メッセージが残る．この抽出メッセージをマネージャは作業管理エージェントに送信する．

②作業の重要度の算出

作業管理者エージェントは作業依頼メッセージから作業の重要度を抽出する．グループ全体の作業に影響する場合は，より重要度が高くなる．

③作業割り当て

作業管理エージェントは，重要度が高い作業をマネージャに入れ替わり，作業に適した作業エージェントに割り当てる．重要度が低い場合は，割り当てないことが考えられる．

契約ネットプロトコルの①から③の手順に，作業割り当て手順①から③を付け加える．これにより，グループ全体の作業や個人作業を柔軟に支援することができると考える．この作業分担方式の流れを図2に示す．

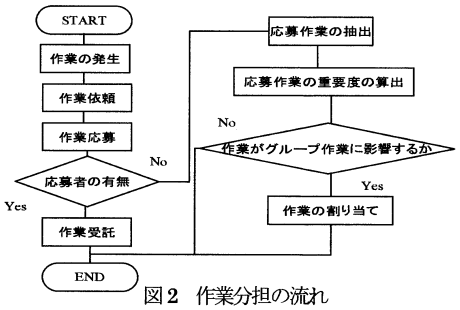

図2　作業分担の流れ

3．2　作業分担機能の詳細

3．2．1　作業依頼方法

作業発生した場合，作業依頼メッセージを送る．作業発生は，実際の保守サービスや営業などで考えると保守依頼の電話や新規の営業場所を発見し，他の作業者に依頼を行う．作業依頼のメッセージフォーマットは，送信先，送信元，メッセージタイプ，作業概要，作業場所，条件，作業時間，応募期限を示す．メッセージ例を図3に示す．

送信先：作業エージェント①、作業エージェント②
送信元：作業エージェント③
メッセージタイプ：作業依頼
作業概要：A社への営業
作業場所：B地点
条件：経験者、C商品の知識がある人
作業時間：3時間
作業予定時刻：13時～18時
応募期限：2007年1月25日17時まで

図3　メッセージフォーマット例

新たな作業や作業場所を発見した作業者や作業管理者の

エージェントが作業依頼メッセージをグループに属するすべての作業エージェントに送信する．作業依頼メッセージを受信した作業エージェントは，作業者のスケジュールや状況を踏まえ，応募するかどうか決定し，返信メッセージを送信する．

3．2．2　応募方法

受信した作業エージェントは，条件に当てはまっているかチェックし，当てはまらない場合は，応募拒否メッセージを送信する．条件に当てはまる場合は，作業者のスケジュールの余裕と作業場所，条件を考慮し，十分に活躍できると判断した応募承諾メッセージを送信する．作業者のスケジュールに余裕がある場合は，作業実績を向上させるために，条件に関わらず，応募を行う．スケジュールに余裕がない場合は，作業時間は短くなればなるほど，作業数をこなすことができるので，実績は伸びると考える．そのため，作業場所は近く移動時間が短い方が良い．トータル作業時間(移動時間＋作業時間)を今までの作業実績と照らし合せ，今までのトータル作業時間の平均よりも下回った時応募する．作業者は，作業実績を多く残すことで実績が向上するので，応募条件とスケジュールを合わせ，応募を行う．この応募メッセージをマネージャのエージェントに送信する．

3．2．3　作業者選択方法

応募を受信したマネージャのエージェントは，応募者が複数の場合，作業に最も適した作業者を選択する．選択の目的として，最も活躍できる作業者を選ぶことにより，グループ全体の作業実績を向上させる．活躍できるかの判断には，作業者の状況を定量的に表す必要がある．このため，AHP (Analytic Hierarchy Process)を利用する．AHP とは，定量的な分析では扱いきれない意思決定問題の分析をする手法である．意思決定は，複数の判断基準に重みを置くことで行われる．AHP では，この判断基準に定量的な重みをつけることができる．AHP の重み付けの方法と適応度の求め方を図 4 に示す．適応度の上位者に，作業を割り振り，作業者は割り振られた作業を受託する．

選択基準

	移動時間	作業実績	経験年数
移動時間	1	1/3	2
作業実績	3	1	6
経験年数	1/2	1/6	1

重み

移動時間	作業実績	経験年数
0.222	0.667	0.111

適応度＝移動時間×重み＋作業実績×重み＋経験年数×重み

作業への適応度

	作業者1	作業者2	作業者3
適応度[%]	78%	45%	55%

図 4　適応度の求め方

マネージャとなるエージェントは，図4のように各要素に重み付けをする．これにより，どの要素が何割満たしているか知り，作業者の作業適応度を求める．よって，作業に適した人材を選択することができ，グループ全体の作業実績を向上することができると考える．

3．2．4　作業依頼の抽出と重要度の設定

応募がなかった作業を持つマネージャは，応募がなかった作業依頼メッセージを抽出する．作業管理エージェント自身がマネージャになる場合があるので，その場合は作業管理者エージェントに作業依頼メッセージが残る．この抽出メッセージをマネージャは作業管理エージェントに送信し，作業の重要度を算出する．

作業管理エージェントは，抽出した作業に重要度を設定し，強制的に作業を割り振るかを決定する．事前に作業管理者は，グループ目標を満たすための作業に重要度を決定する．作業重要度の決定は，各作業内容にレベルを設け，作業内容ごとに対してもレベル分けを行う．このような階層化したレベル分けは，グループの目標を達成する上で重要か重要でないかを考えるために，作業管理者が設定する．この重要度を作業管理エージェントに登録し，あるレベル以上の作業は作業管理者に報告するなどのイベントを登録する．レベルを階層化して行い，作業管理者は，イベントにより知らされた作業を強制的に割り当てるか最終決定する．例えば，協調作業が営業作業だった場合を例として考える．グループ全体目標として，営業受注数向上を設定する．営業活動には，受注，営業，挨拶回りといった作業から成り立つ．レベル設定例を表 1 に示す．

表 1　レベル設定例

作業内容	レベル
受注	高
営業	中
挨拶回り	低

受注数向上に最も影響する受注作業は優先的に行なわれる．営業は受注数向上への影響が高いが営業により，受注を取れるか分からないので，取引企業の作業実績により作業管理者が割り振るか決定する．

あいさつ回りは，受注した企業に行うため，直接受注数向上への影響が少ない．このように目標を達成する上で重要な作業にレベル分けを行う．ある程度の大きさでレベル分し，営業のような強制的な割り振るか割り振らないかのグレーゾーンには，さらに細かいレベル分けをする．レベル分けに必要な作業実績などの判断材料よりレベルを細分化する．この状況を図 5 に示す．

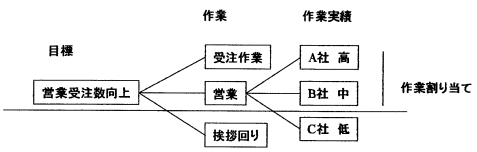

図 5　レベル分けの細分

このように細分化し，作業管理者が早期の意思決定を行えるようにエージェントが支援して，作業の割り当て決定を作業管理者が行う．エージェントは，レベルに応じて作業を振るいにかけ，作業管理者の作業負担を軽減する．

3．2．5　作業割り当て方法

作業管理エージェントがマネージャになり，作業を割り当てる．割り当て方法として，作業条件を満たし，割り当て作業を行う予定時刻にスケジュールが空いている作業者や近い場所いる作業に優先的に割り当てる．作業条件は最低満たす必要がある．以下の手順で作業を割り当てる作業者を見つける．

①　作業条件を満たす作業者
②　スケジュールの余裕や予定作業の重要度
③　作業場所に近い作業者

①は必ず満たす必要がある．①から③の順で適切な作業を選ぶ．①から③の順に条件が弱くなる．条件を満たす該当者が複数いれば，次の条件に入り，該当者を絞りこむ．また，②の条件のスケジュールの余裕がない場合は，割り当て予定時刻に入っているスケジュールを変更し，作業を割り当てる．その条件として，重要度が低い作業が予定されている作業者を優先し作業を割り当てる．さらに該当する作業者が複数いる場合は，③のステップにより，該当者を絞り込む．②の条件のスケジュールの余裕がない場合は，割り当て予定時刻に入っているスケジュールを変更する．このため，変更された作業を他の人に割り振る必要がある．作業分担として，この作業も同様に今まで行った作業割り当て方法が適用される．よって，最初の手順作業依頼から順に同じ割り当て方法が行われる．

3．2．6　エージェント間通信プロトコル

エージェント間の通信プロトコルを，作業分担機能の手順に沿って説明を行う．エージェント関通信プロトコルを図6に示す．

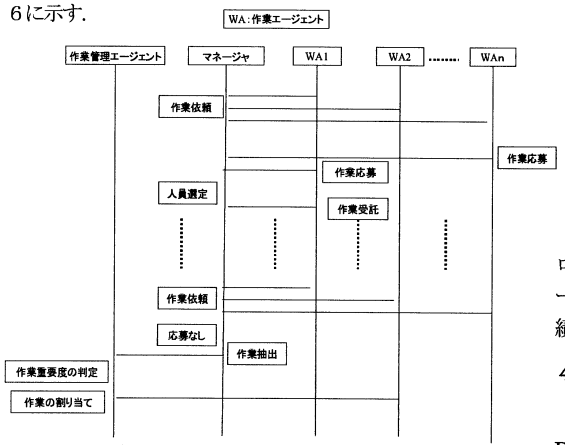

図6　エージェン間通信プロトコル

エージェント間通信プロトコルの手順

(1) 応募がある場合
①　マネージャは作業依頼を送信する．
②　作業エージェントは応募する．
③　応募者を選考し，作業を割り振る．

(2) 応募がない場合
①　マネージャは作業依頼を送信する．
②　応募がない場合，作業概要を抽出する．
③　作業管理エージェントがマネージャに入れ替わる．
④　作業割り当てる人員の選定．
⑤　作業の割り当てを行う．

このような手順で作業割り当てが行なわれる．

4．プロトタイプの構築

4．1　シミュレーション設計

本研究方式を商品営業支援システムに適応し，シミュレーションを行う．商品営業支援システムの概要を説明する．商品営業支援システムでは，複数の商品の売り込みを支援するシステムである．支援内容として，実際の作業中に起こる急な営業先の商談やトラブルに対して問題のレベルに応じて適切な対応を支援する．シミュレーションに当たり，営業内容を資料配布，商品説明，受注商談というように業務を分けて，シミュレーションを行う．営業店舗や営業商品は複数用意する．スケジュールを設定し，どの順番で作業を行うかをスケジューリングして作業を行う．目標は，できるだけ受注商談の回数を増やし，利益を生むことである．本方式の作業分担機能を検証するために，予め作業者が行う営業スケジュールを生成し，急な営業先の業務をランダムに発生させ，急な業務に対して，適切な作業分担ができるかどうか確認する．

シミュレーション実現のための作業条件を表2に示す．

表2　作業条件

条件項目	設定値
人数	30人
営業店舗数	100店舗
商品数	3種
営業時間	10時間

これらの条件を前に述べた作業分担機能に対応させ，プロトタイプを構築し，シミュレーションを行う．シミュレーションにより，契約ネットプロトコルと本方式の作業実績を比較する．

4．2　シミュレーションの開発環境と実装

シミュレーション環境として，J2SDK(Java 2 Software Development Kit)バージョン1.5を利用して構築する．作業エージェントと作業管理エージェントのメッセージ通信

には，Javaのクラスのメッセージパッシングを利用して実現する．作業エージェントの実現のために，スケジュールクラスや移動管理クラス，ユーザープロファイルクラス，意思決定クラス，メッセージ解読クラス，作業分担機能クラスを作業エージェントの要素として実現する．作業管理エージェントの実現のために，作業分担機能クラス，店舗情報クラス，作業者管理クラス，メッセージ解読クラスを作業管理エージェントの要素として実現する．また，適切な作業分担の実現をするために，ランダムに作業を発生させるプログラムを作成する．作業者の同時作業状況は，Javaのスレッドプログラミングを利用して，実現する．これより，実際の作業状況に近い，シミュレーションを実現し，ランダムで発生する作業に応じたエージェントの支援を確認する．

4．3　シミュレーションの評価

(1)動作確認

プロトタイプを構築し，エージェント間通信が実現されているか確認する．また，設計通り作業分担機能が実現されているか確認する．

(2)契約ネットプロトコルと本方式の比較

本方式実装したプロトタイプと契約ネットプロトコルを実装したプロトタイプを比較する．比較項目として，エージェント間のメッセージ数や作業実績を評価対象とする．作業実績を比較することで，本方式の有効性を検証する．また，シミュレーションにより，エージェントにより削減できる作業者間や作業管理者と作業者間のメッセージ数を確認する．

4．4　簡易的なプロトタイプの構築

営業支援シミュレーション結果から有効性を確認し，同様の条件で，簡易的なプロトタイプを構築する．簡易的なプロトタイプを構築し，実際に利用して動作検証を行い，アンケートを取り本機能の有効性について確認する．構築に際して，作業者が利用する携帯端末として，携帯電話やPDAを利用する．

4．5　プロトタイプの実装

(1)開発言語

J2MEWTK(Java2PlatformMicroEdition WirelessToolkit)バージョン2.2

J2SDK(Java 2 Software Development Kit) バージョン1.5

(2)データベース

Mysqlバージョン4.0.16

作業エージェントは，携帯端末向けのアプリケーション開発キットであるJ2MEWTKを利用して，実装を行う．また，作業管理エージェントは，J2SDKを用いて実装を行う．データの管理は，Mysqlによって行う．これらの開発環境でプロトタイプの実装を行う．作業管理エージェントと作業エージェントの通信方法として，GCF(Generic Connection Framework)を用いて実装する．GCFは様々な携帯端末にとって必要となる省スペース用のネットワーク機能を反映している．

また，作業エージェント同士の通信方法は，Wireless messaging APIのSMS機能を利用して，実装する．Wireless messaging APIはJ2MEのオプションパッケージである[5]．位置情報の取得は，J2MEのCLDCのLocationAPIを用いて実装する．LocationAPIは，位置情報を扱うJ2MEのオプションパッケージであり，リソース制限されるJ2MEデバイス上で現在地情報や場所に関連する情報を提供するシンプルなAPIである[6]．現在，これらの技術を使い，プロトタイプを実装中である．

4．6　プロトタイプの評価

アンケートにより評価する．アンケートの評価項目は，使いやすさ，エージェントの意思決定が自分の意思決定に沿っていたか，集団協調作業支援に対する有用性はあるかとする．これにより，本方式による集団協調作業支援が効果的な支援であるか評価を行う．

5．まとめと今後の課題

本稿では，効果的な集団協調作業を実現するために，位置情報や作業者の状況を利用した作業分担機能を提案した．契約ネットプロトコルに強制的に作業を割り当てる機構を追加することにより，作業者やグループ活動を考えた作業分担方式を提案した．提案方式を検証するための商品営業システムのシミュレーション設計とプロトタイプ設計を行った．今後の課題として，シミュレーションやプロトタイプの実装を完成させ，その結果より，他分野への適用を検討する．

参考文献

[1] 森北出版株式会社：図解これでわかったGPSユビキタス時代の位置情報 pp.24~40

[2] 服部正則，長健太，大須賀昭彦，本位田真一，福沢良彰：エージェントフレームワークを用いた車載端末向け情報提供システムの構築と評価　情報処理学会論文誌　Vol.44 No.12 pp.3024~3036

[3] 上坂大輔　吉野孝，宗森純：NAMBA Explore：PDAを用いたインフォーマル情報共有システム，マルチメディア，分散，協調モバイル(DICOMO 2003)，情報処理学会，pp.485-488(2003)

[4] 西田豊明，木下哲男，北村泰彦，間瀬健二：エージェント工学 pp.104~109

[5] 立川敬行：Java モバイルアプリケーション pp.130~135