

新型 閉鎖空間内探索ロボット

Quince (クインス)

主要研究開発機関
国際レスキューシステム研究機構
千葉工業大学
東北大学

NEDO戦略的先端ロボット要素技術開発
閉鎖空間内高速走行探索群ロボット

プロジェクト研究代表者
田所諭 (国際レスキューシステム研究機構; 東北大学)

Quinceの開発目的

- CBRNE災害の際に、消防等の隊員に代わって現場に進入し、状況調査を行う。
 - 例: 地震災害におけるLSI工場の汚染状況調査
化学プラントの化学物質漏洩、爆発事故調査
地下鉄サリン事件のようなテロ
- 特に、閉鎖空間(地下、ビル内)は危険性が高く、隊員の二次災害を防止するためにロボットに対する期待が高い

消防がロボットに期待する機能

- NBCR災害
 - センサによるNBCR物質の特定 39 49の主要消防局のうち、期待すると回答した数
 - 安全な場所への被災者の搬送 30
 - NBCR物質の除去 24
- 火災
 - ビル内の消火 30
 - ビル内での検索 25
 - 輻射熱にかかわらず消火 24
- 地震災害
 - 瓦礫の上からの検索 26
 - 瓦礫の中での検索 22
 - 重量瓦礫の除去 21
- 水害
 - 要救助者の検索 27
 - 水の中からの救助 24

(消防庁、消防・防災ロボット技術のあり方研究会内部資料、全国政令都市・主要都市の49消防局への質問)

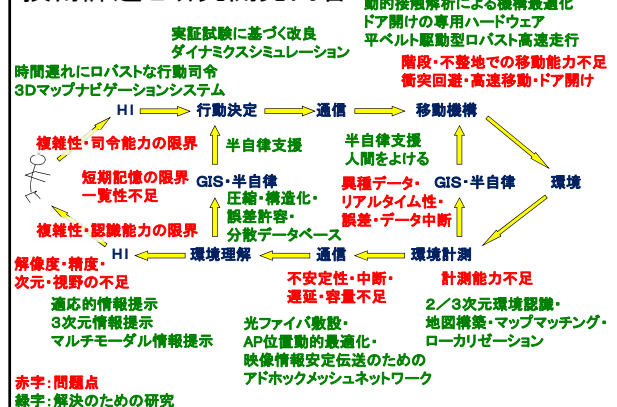
技術成果イメージ



Quinceの特長

- 階段や瓦礫などを含む災害空間における**高い走行性能**
- 災害空間での活動や汚染物質除去に不可欠な**防塵防水**
- 予期せぬ落下時でも機能を持続できる**耐久性**
- 物体や空間の**3次元形状の計測**, 映像, 音声情報の**マッピング**
- 複数台のQuinceからの**情報の統合と記録**
- あらゆる災害に必要な**基本機能**に加え、災害に応じて**オプション機能**を選択して搭載

技術課題と研究開発内容



Disaster Cityでの瓦礫踏破試験



コンクリート瓦礫(約40m四方)を端から端まで踏破



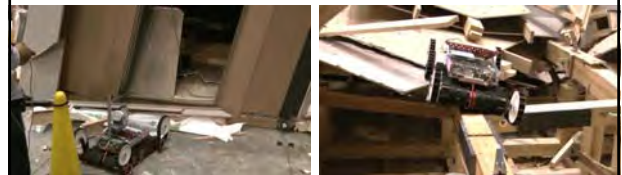
木材瓦礫を踏破(約10m) (2008.11.18-20) 斜面の横断

E-Defense(大規模震動台)実験



3階建て軸組構法住宅の倒壊実験

倒壊した屋根構造の走破



倒壊家屋への進入

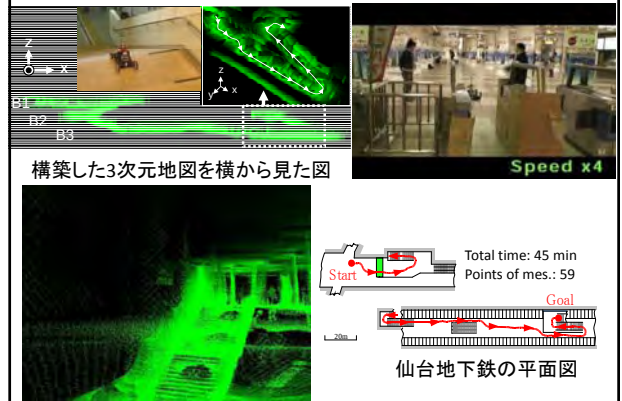
倒壊した屋根の梁の上の走破

Kenafの半自律操縦支援システム

人間が指示した方向に段差などを自律踏破しながら移動
遠隔操縦の負担軽減と効率的な探索の実現



Kenafによる閉鎖空間の3次元地図構築

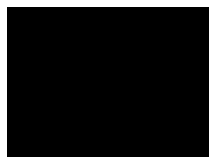


10階までの階段の3Dデータ取得 (兵庫県消防学校、2009/05)

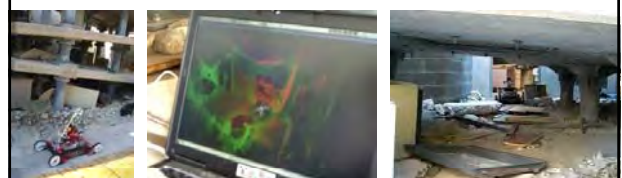


このデータを取得する為には
様々な要素技術の統合が必要

- 階段等の登坂機能
- 精密な遠隔操縦機能
- 3Dスキャンと重ね合わせ技術
- 自己位置の推定機能
- 長距離通信機能
- データ蓄積・閲覧機能



Disaster Cityでの遠隔操縦試験



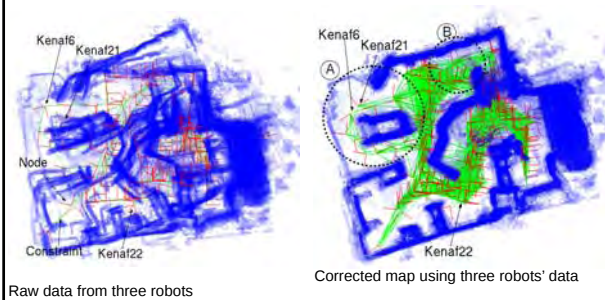
3Dインタフェース+半自律瓦礫踏破で、
バンケーキクラッシュの建物内を操縦
→非常にわかりやすいとの評価

(参考画面)
平面マップは
役に立たない

(2008.11.18-20)



三台のロボットによる協調地図作成



Quince / Kenaf の比較

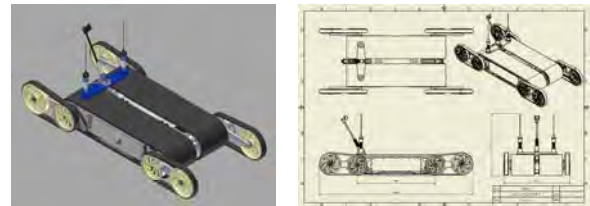


	Quince	Kenaf
長さ(mm)	655(1079)	580(941)
幅(mm)	481	431
高さ(mm)	225	195
重さ(Kg)	26.4	20.2
速度(m/s)	1.6	0.7
防塵・防水(IP67)	あり	なし
耐衝撃	2m落下	1m落下

Quince(新型Kenaf)

- 機能のオプション化 (現場に応じた構成の変更)
 - 基本システム (すべての現場に必要な機能)
 - 高性能移動機構, アンテナ, 鳥瞰カメラ
 - 前後カメラ, 双方向音声, 階段センシングPSD
 - マニュアル走行, 半自律支援機能による階段昇降
 - 現場に応じたオプション (必要に応じて追加機能を選択搭載)
 - PTZカメラ → 映像による探査
 - 3次元スキャナ → 3次元HL, マッピング
 - アーム → ドア開け, サンプルング
 - GIS → マッピング
 - ケーブル敷設 → 広範囲探査
 - 瓦礫センシング → 半自律支援機能による瓦礫走破
- 防塵・防水・高耐久性 (現場実用性の確保)
- 実証試験と, いち早い消防等への試験配備

Quinceの構成



標準装備・3chカメラ(前後, 俯瞰)・マイクロフォン/スピーカ
・PSDセンサ(段差検出)

オプション装備・パンチルトズームカメラ・6DOFマニピュレータ
・赤外線サーモグラフィ・CO2センサ・3Dレーザレンジファインダ

Quinceの走行試験(半自律走破)



2009.12.7 兵庫県広域防災センター

参考資料

H20年度までの成果

①閉鎖空間における移動技術の開発

(目的) 災害空間内の情報収集と作業
(ユーザヒアリングにより作成した仕様)

事業原簿iii-1-3-5～8

- ・一人で運搬可能(20kg以下)
- ・高速走行(6km/h以上)
- ・瓦礫走行(爆発や倒壊への対処)
- ・単機能でよい
- ・価格が1台あたり数百万円以下 → 数が多ければ百万円以下
- ・防塵防水、即時動作、高信頼性(事業化開発項目)

(ソリューション)

- ・高速移動が可能で、瓦礫環境での**走破性**が高く、階段途中での旋回すら可能な、重量20kg以下の**小型軽量ロボット: Kenaf(ケナフ)**
- ・同時に広範囲の場所を調べる → 複数台のロボットが同時に動く
- ・知能やヒューマンインタフェースの共同開発を行いやすいアーキテクチャ
- ・ドア開けなどの**重量作業用ロボット: UMRS(ユーエムアールエス)**
→ 上記性能との両立は困難であるため、別ロボットとして開発
- ・耐衝撃性・高効率の伝動変速機構: 平ベルトアクチュエータ
- ・机上訓練のための**ダイナミクスシミュレータ**

①閉鎖空間における移動技術の開発

中間目標の達成度、成果の意義、成果の普及、達成可能性

事業原簿iii-1-3-5～8

研究項目	目的	目標	成果	達成度	評価
高速不整地走破機構Kenafの開発	障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、高速走行できる、移動技術の開発。	移動速度は迅速に歩く人間と同程度。ロボットの重量は人間が一人で運搬可能であることとし、実証試験の稼働状態にてバッテリーが連続1時間以上もつことを条件とする。	左記の目標をすべて実現した。特に、不整地において高い走破性を実現し、RoboCup 2007 Atlanta大会運動性能部門優勝、Disaster Cityの瓦礫の走破などの実績を挙げた。	目標を120%、非常に高いレベルで達成した。	◎
ドア開け用台車UMRS、および、ミニビュレータの開発	地下街・ビルなどのドア開けが可能なシステムの開発	押し開きが可能な軽量ドアを開け、他のロボットを閉鎖空間の内部に安全に導き入れることができる。	ステージゲートデモで設けられたドアなどを押し開けることができた。	目標をほぼ達成した。	○
耐衝撃アクチュエータの開発	外部からの衝撃に対してロバストな伝動機構の開発	台上試験により、実用上十分な耐衝撃性を実現する。	実験により耐衝撃性を実証するとともに、高い伝達効率を実現した。	目標をほぼ達成した。	○

クローラ型ロボットKenaf: 高い運動性能を実現

ロボカップ2007
Atlanta世界大会
運動性能の部で
優勝



NIST/ASTMのレスキューロボット評価に関する世界標準提案の評価試験法。世界中の様々なロボットより優れた運動性能を実証

Disaster Cityでの瓦礫踏破試験



コンクリート瓦礫(約40m四方)を端から端まで踏破



木材瓦礫を踏破(約10m) (2008.11.18-20) 斜面の横断

②遠隔操作のための知能とヒューマンインタフェース

(目的) ユーザにとって使いやすいシステムとするためのさまざまな技術開発

事業原簿iii-1-3-8～12

(開発したヒューマンインタフェース)

- ・瓦礫等の困難な場所を、注意深く迅速に移動するに適したマニュアル制御ヒューマンインタフェース (Kenaf)
- ・平地オープンスペース等の楽な場所を、オペレータの関与を最小にして、高速に移動するに適した、ポインティング方式半自律ヒューマンインタフェース (Kenaf)
- ・3Dマップナビゲーションシステム (UMRS)

(開発した知能)

- ・オペレータの操縦を楽にするための**自動人避け**技術
- ・オペレータの操縦を楽にするための**不整地半自律走破**技術
- ・複雑な場所の状況確認のための、**3D環境計測・地図構築**
- ・半自律行動を実現するための、**クローラの高精度オドメトリ**

(実績)

- ・ロボカップ2007アトランタ大会において短時間設置試験を含む実用性評価を行い、モビリティ部門優勝により、ヒューマンインタフェースのレベルの高さを実証。
- ・神戸市地下街さんちか、仙台市地下鉄で、計4回以上の実験を行い、問題点を洗い出し、改良を重ねる。

②遠隔操作のための知能とヒューマンインタフェース

中間目標の達成度、成果の意義、成果の普及、達成可能性

事業原簿iii-1-3-8～12

研究項目	目的	目標	成果	達成度	評価
ジョイスティック遠隔操作	瓦礫上や狭い場所でも、スムーズに遠隔操縦を行う	操縦が困難な場所でも、機構の性能を十分に活かした走行可能	RoboCup 2007 Atlanta大会運動性能部門優勝、Disaster Cityの瓦礫走破などの実績を挙げた。	目標を達成	◎
通過ポイント方式遠隔操作	オペレータの介入を最小限化、複数ロボットの操縦可能、通信遅れにに対してロバスト	オペレータの介入を少なくし、長距離の遠隔操縦ができるようにする。	ステージゲートデモで地下街を走行し、その有効性を示した。	目標をほぼ達成	○
半自律不整地踏破	階段や不整地の半自律踏破	緩やかな階段や不整地を半自律走行する	ある程度の階段やある程度の不整地を走破できる	目標を達成	◎
3次元操縦IF	狭隘箇所での遠隔操作	狭隘箇所の形状を操縦者が十分に認識できる	Disaster Cityで操縦における有効性を実証した。	十分に目標を達成	◎
人避け	歩いてくる人を自動的に避ける	ゆっくりと歩く人を避けられる	方向の予測が容易な人の動きに対して、避けられる	ほぼ目標達成	○
シミュレータ	(半)自律機能の開発、仮想的使用訓練	計算機内でKenafが不整地走行	実験とほぼ同じように仮想的な遠隔操縦ができた	目標を達成	◎
マップナビ	マップに基づくナビゲーション	マップを表示し、それにより遠隔操縦	ステージゲートデモで、地下街に適用した。	ほぼ目標達成	○

Kenafの半自律操縦支援システム

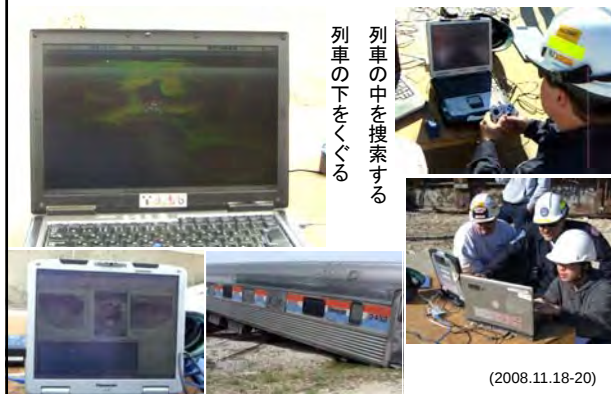
人間が指示した方向に段差などを自律踏破しながら移動
遠隔操縦の負担軽減と効率的な探索の実現



Disaster Cityでの遠隔操縦試験



Disaster Cityでの遠隔操縦試験



遠隔操作用複数映像の700m通信技術

(目的) 地下街・地下鉄・ビル内のインフラを
 使わない安定した通信

事業原簿iii-1-3-12~14

(ソリューション)

- ・有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク
- ・アドホック無線LANによるAPでの面的な通信エリアの確保
- ・有線LANによる十分な通信領域の確保
- ・有線が断されても無線がして接続を継続できる、ロバスト通信技術の開発
- ・有線LANを敷設するためのロボットの開発
- ・伝搬状況のシミュレーション

(実績)

- ・ステージゲートデモ試験により、683mを、ほとんど遅れなしにカバーできることが実証された。

遠隔操作用複数映像の700m通信技術

中間目標の達成度、成果の意義、成果の普及、達成可能性

事業原簿iii-1-3-12~14

研究項目	目的	目標	成果	達成度	評価
有線・無線ハイブリッドアドホックネットワーク	地下街やビル内にインフラを使わないでネットワークによる遠隔操作を可能にする。	距離700 m、面的な広がり、遠隔操作に支障をささないレイテンシー、複数台のロボットからの映像情報。	ステージゲートデモで、距離683 mを遅れが小さく、複数台のロボットからの映像や3次元計測データを収集し、遠隔操作が可能であることを示した。	ほぼ目標を達成した。	○
ケーブル敷設ロボット	有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークのためのケーブルおよびアクセスポイントを敷設する。	距離700 m、50 mにアクセスポイントを設置できることを示す。	神戸市地下街での実験で、敷設が技術的に可能であることを確認した。	ほぼ目標を達成した。	○
閉鎖空間内での伝搬シミュレーション	シミュレーションにより、有線・無線ハイブリッドアドホックネットワークの配置計画を行う。	地下街における複数台のロボットからの伝搬状況の推定を行う。	シミュレーションにより伝搬状況の推定が可能であることを確認した。	ほぼ目標を達成した。	○

測位とGISマッピング

(目的) 複数ロボットの走行 モニタリングと
 収集情報のGISマッピング

事業原簿iii-1-3-14~17

(ソリューション)

- ・複数ロボットが同時に、映像情報、3D計測情報などを位置情報とともにMISプロトコルで伝送
- ・GISシステムDaRuMaへの計測データ登録
- ・加工データの登録
- ・マップマッチングによるローカリゼーション

(実績)

- ・さんちか実証試験により、収集した3次元計測などの情報のマッピングが可能であることが示された。
- ・データベース上の3次元データに対してSLAMを行い、データの位置情報をし、3次元地図を登録できるための機能を実現した。

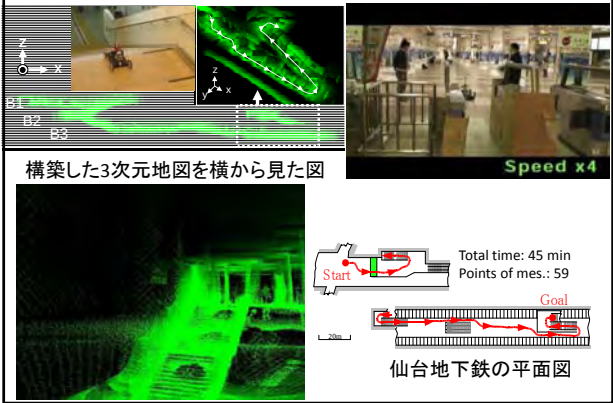
(問題点)

- ・SLAM、マップマッチングが統合

測位とGISマッピング

中間目標の達成度、成果の意義、成果の普及、達成可能性					
事業原簿iii-1-3-14～17					
研究項目	目的	目標	成果	達成度	評価
DaRuMaとMISPの改良	誤差の大きい複数台のロボットからの収集情報を統合する	複数 標 を許容するためにプロトコルを行う	ステージゲートデモで、情報の統合が可能であることを示した。	ほぼ目標を達成した。	○
・複数 標を許容する位置表現	誤差の大きい複数台のロボットからの収集情報を統合する	標 の が可能な位置表現を開発する	ステージゲートデモで、情報の統合が可能であることを示した。	ほぼ目標を達成した。	○
3次元オドメトリ	GISおよび半自律機能に十分なオドメトリを実現	クローラ機構のオドメトリの精度を向上させる	スリップ推定による平地でのオドメトリの精度向上、階段等でのジャイロオドメトリの実現	目標を達成した。	◎
3次元地図の構築	ファーストレスポンスの 断に資するための3次元地図の構築	複数の計測地図の半自動マッピング	仙台市地下鉄やDisaster Cityで、オフラインで3次元地図を構築できることを示した	目標を達成した	◎
自己位置推定	ロボットの自己位置の推定	閉鎖空間内で、ファーストレスポンスの 断に十分な精度の自己位置推定	フィールドテストで自己位置推定を行い、Disaster Cityにて、ファーストレスポンスがほぼ十分であると 断	ほぼ目標を達成した	○

Kenafによる閉鎖空間の3次元地図構築



実用化・事業化

（基本的な考え方）

- ・さまざまなユーザの意見を ぐ、ユーザに使ってもらう。
- ・実証試験を行い、有効性をデモンストレーションする

事業原簿iii-1-3-21～32

（実績）

- ・国内の消防等へのデモ、意見 取、 会、 続的コンタクト
- ・ 自 隊へのデモ
- ・ Disaster Cityでの実証試験
- ・ NIST/ASTMのレスキューロボット評価の標準化（レスキューロボットの調達基準の作成）への 、NIST/ASTM標準評価法による開発システムのテスト
- ・ RoboCupでの有効性検証（アトランタ大会運動性能部門優勝）
- ・ 地下街、地下鉄等の現場での実証試験、活用シナリオの作成と、それによる試験
- ・実用化・事業化プランの作成と実
- ・ Rescue Robotics Campでの 国研究者へのデモ、 種 示会（国際ロボット 、危機 理 、など）でのデモ 示
- ・研究用としての 実績（東 機大学）、国内外からの多くの き合い（防 庁：US Army Research Lab., USA; Delhi Fire Service, India; Graz Univ., Austria; Univ. NSW, Australia; Darmstadt Univ., Germany）（Kenaf）
- ・事業化の実 （平ベルトアクチュエーター高効率として）
- ・事業化に関する協力：（ ）モリタホールディング

実用化・事業化

中間目標の達成度、成果の意義、成果の普及、知的所有、標準化、達成可能性、実用化可能性、事業化までのシナリオ、 及効果					
事業原簿iii-1-3-21～32					
項目	目的	目標	成果	達成度	評価
Kenaf	システム事業化	ロボット研究者への	研究用として（東 機大1台）国内外からの多くの き合い（防 庁:US Army Research Lab., Graz Univ., Univ. NSW, Delhi Fire Service, 他）Rescue Robotics Campでの 国研究者へのデモ	目標達成	◎
	システム実用化	ユーザの意見を き、実用化への を ける	消防・ 自 隊へのデモ、Disaster Cityでの実証試験、NIST/ASTMレスキューロボット評価標準化への 、システム評価RoboCupでの有効性検証（アトランタ大会運動性能部門優勝）地下街、地下鉄等での実証試験、活用シナリオ作成とそれに基づく試験 種 示会（危機 理 等）でのデモ	目標達成	◎
（ 後）			（→実用システムの仕様の洗い出し、実用化開発、試験配備へ）		
平ベルトアクチュエータ	ロボット部事業化	事業化の 検	事業化の実	目標達成	◎
UMRS	ロボット部事業化	事業化に向けた開発	ハンドの事業化、台車の事業化	予定通り	○
（ 後）	（システム実用化）		（→実用システムの仕様の洗い出し、実用化開発、試験配備へ）		