

# 街路樹管理・診断ロボットを想定した 仮想空間における樹木認識

佐々木 豊\*・田島 淳\*・井上俊太\*\*・鈴木正肚\*\*

(平成 18 年 10 月 25 日受付/平成 19 年 3 月 15 日受理)

要約: 都市空間にとって街路樹の存在は、交通安全・快適性の向上、都市緑化、アメニティ効果、防災、生態系形成、歴史性/都市文化の継承など、重要な機能・役割を有している。反面、劣悪な生育空間であるため、病虫害と農業問題、腐朽菌による倒木問題などを抱えている。特に街路樹の数が多いにも拘らずこれを診断できる樹木医は少なく、今後の街路樹管理においては効率性やデータ蓄積による客観性のある診断・管理支援が重要である。そこで本研究では先ず街路樹管理支援システムを提案した。次にその機能の一部として診断ロボットに着目し、3DCG シミュレータを構築した後、仮想空間上で診断ロボットによる樹木認識アルゴリズムの検討を行った。

キーワード: 街路樹管理, 自動診断, ロボット, 仮想空間, 画像認識

## I. 緒 言

都市空間の中で身近な自然である街路樹の機能・意義を、書籍や行政の公開情報などを元にまとめたものを表 1 に示す<sup>1,2)</sup>。このように、交通安全・快適性の向上、都市緑化、アメニティ効果、防災、生態系形成、歴史性/都市文化の継承など、重要な機能・意義があることが分かる。またその適切な設置と管理はヒートアイランド問題の改善にもつながると考える。

しかしながら、街路樹自身や街路樹管理には多くの問題が存在する<sup>3,4)</sup>。表 2 に示すように、先ず劣悪な生育空間であり、樹種選定に関しても住民のニーズと街路樹の地域適正にミスマッチが存在する場合がある。また管理に関しては、街路樹の数が非常に多いにも拘らず、これを管理する人員は少なく、多大な時間と労力、費用を必要としている。更に管理基準は各都市によって異なるのが現状である。その上劣悪な生育環境であることに関連して病虫害が発生しやすく、都市空間における農業散布問題も存在する。その他剪定された枝や落葉のリサイクルなども大きな問題となっている。

街路樹を主に診断する専門家は樹木医である。樹木医とは、樹木の診断及び治療、後継樹の保護育成、樹木保護に関する知識の普及および指導を行う専門家であり、(財)日本緑化センターが認定する資格である<sup>5,6)</sup>。平成 17 年現在全国に 1,334 人存在する。樹木医による診断は、巡視点検を行って目視とハンマーなどの簡易な道具で樹勢・活性、損傷の有無、病虫害の有無、地上部の形態と根部の状況、腐朽菌やシロアリなどによる空洞化を調べて記録する外観

診断と、腐朽菌やシロアリなどによる樹木内部の空洞化を調査する精密診断に分けられる<sup>3,7)</sup>。外観診断では視覚認識と判断が大半を占め、精密診断については樹木内部の空洞化のみを対象としている。更に専門家である樹木医による診断にも次の問題が存在する。

1. 診断基準（活力、健全度など）のあいまいさ
2. 診断項目・被害程度と診断結果の相関の有無
3. 専門家不足（調査対象数が膨大で、樹木医数が少なすぎる）
4. 低効率調査（人による毎木調査のため）
5. 人の主観/ヒューマンエラー
6. 過去履歴・データの蓄積の無さ

このような街路樹の重要性とその管理の問題点などから、本研究では先ず街路樹管理支援システムを新しく提案する（図 1）。次にこのシステムのうち、図 1 のロボットによる精密管理部に今回は着目し、樹木診断用の 3DCG シミュレータの構築と、樹木の画像認識アルゴリズムの開発について報告する。仮想空間上で検討する理由は、現実に近い環境を構築できる上、柔軟に環境条件を変更して様々なシミュレーションに発展させることが可能だからである。

## II. 街路樹管理支援システムの提案

提案する街路樹管理支援システムは大きく分けて次の 4 つから成ることを想定している（図 1）。

1. 広域管理部
2. ロボットによる精密管理部
3. GIS 型データベース部（街路樹管理台帳システム）

\* 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科

\*\* 新潟大学農学部生産環境科学科

表 1 街路樹の機能・意義

交通安全・快適性の向上	事故被害の低下, 騒音低下, 交通分離, 遮光, 視線誘導, ランドマーク, 衝撃緩和
都市緑化	大気汚染物質の吸着・吸収, 緑陰効果
アメニティ効果	都市景観の向上, 四季の反映, 温暖化防止
防災	避難路確保, 延焼遮断壁
生態系形成	都市生態系の維持, 野生生物のコリドー, 地域生態系の一部
歴史性/都市文化の継承	都市独自の歴史性や文化財としての存在

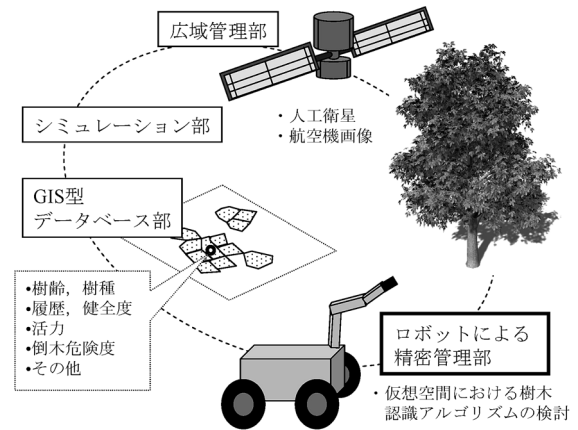


図 1 街路樹管理支援システム

表 2 街路樹・管理に関する主要な問題点

劣悪な生育空間	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 法律や道路（信号機, 交通標識, 架空線など）による地上空間制限や強制剪定</li> <li>- コンクリート・パイプなどによる地下空間制限, 工事などによる根系切断</li> <li>- 踏圧による土壌通気性・保水性劣化/根損壊</li> <li>- 土壌栄養・水・日照不足</li> <li>- 排気ガスなどの大気汚染/光害</li> <li>- エアコン・アスファルトによる熱汚染</li> <li>- 不自然な生態系による病害・虫害</li> </ul>
樹種選定とニーズのミスマッチ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 樹種選定基準の不明確さ（時代背景や都市毎の任意選択）</li> <li>- 住民ニーズと街路樹の適正（成長性, 大気汚染耐性など）のミスマッチ</li> </ul>
管理作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 基準の不統一</li> <li>- 管理費用や剪定労力の膨大さ</li> <li>- 樹木医の診断レベル</li> <li>- 葉や枝, 撤去街路樹のリサイクル問題</li> </ul>
病虫害被害/農薬使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 多量の病虫害の発生</li> <li>- 都市空間での農薬使用問題</li> <li>- 倒木問題</li> </ul>

#### 4. シミュレーション部

広域管理部は人工衛星や航空機画像を用いて、樹勢、活力、病害などをリモートセンシングによりモニタリングするものである。これにより広域かつ効率的にセンシング及び管理が可能となるが、広域管理部だけでは詳細な情報を得られず、樹木の空洞化なども調査できない。そこで、巡回・監視を行い、視覚診断と精密診断を実施するロボットによる精密管理部が存在する。これは診断のみならず、将来的には剪定、病虫害駆除、薬剤塗布、倒木回収など、処置機能も付加することを想定している。GIS型データベース部は街路樹管理台帳システムを有し、各樹木に対して樹

齢、樹種、履歴（災害・事故等）、健全度、活力、倒木危険度、位置情報などを管理するものである。シミュレーション部は現在の情報からリスク予想や都市計画などを行うものである。具体的には樹種選択・配置シミュレータ、都市アメニティのための景観シミュレータ、生態系シミュレータ、倒木リスク予測、震災・火災などの被害度予測、大気汚染予測、倒木時の交通影響予測、環境調和型の都市計画支援などを想定している。以上のように、現在の街路樹を適切かつ効率的に管理するだけでなく、過去からのデータを蓄積し、積極的に次世代の都市計画などに役立てるためのシステムと言える。

本論文で検討するロボットはビーグルと多自由度マニピュレータから成り、その先端（以下、エンドエフェクタ）に視覚診断用のカメラセンサを装備することを先ず想定する。

### III. 診断ロボット用3DCGシミュレータの構築

#### (1) 3次元コンピュータグラフィックの活用

3次元コンピュータグラフィック（以下、3DCG）の利点はコンピュータ内部にオブジェクトの幾何情報を定義し、任意のスケールでモデリングが可能であること、任意の光源や物性を設定したレンダリングが可能であることが挙げられる。これらは仮想空間上に現実に近い環境を構築できることを示している。つまり実物のロボットやカメラセンサなどが無くても、制御やセンシング手法、画像認識などを検討できることを指す。また将来的に街路樹管理支援システムの一部であるシミュレーション部に技術転用できる利点もある。主な利点をまとめると以下となる。

1. 特定のセンサやロボットに依存しない汎用性のある診断手法やロボット制御を検討できる。
2. 現実に近い仮想空間上で様々な環境条件を変化させることができる。
3. 3次的に視覚化できるため直感的な開発が可能である。
4. 樹木オブジェクトを変更することにより、様々な樹種の診断に対応できる。
5. 街路樹管理支援システムの一部であるシミュレーション

ン部の開発に拡張できる。

本研究では、OpenGL と GLUT を用いた 3DCG シミュレータの開発を行った。OpenGL とはシリコングラフィックス社が開発した OS に依存しない 3DCG ライブラリであり、GLUT とは OpenGL Utility Toolkit を指し、ライブラリをサポートしたものである。OpenGL と GLUT を組み合わせることで、Windows, Macintosh, UNIX のいずれでも動作するリアルタイム 3DCG シミュレーションが無料で構築できる。Windows XP 上で Visual C++ をコンパイラとして C 言語でシミュレータの開発を行った。

(2) 3DCG シミュレータの構成

3DCG シミュレータは、図 2 に示すように仮想空間、樹木オブジェクト、マニピュレータ、カメラセンサから構成される。

仮想空間は、光源を持つ空間と地面、背景となる都市空間画像から成る。OpenGL では光源色は RGB 値で設定でき、環境光、拡散反射光、鏡面反射光、透過光の 4 要素を用いて物体表面の明るさが計算される。光源は白色・平行光源を設定した。

植物は非常に複雑な形状をしているため、モデリングが困難である。このため植物モデラー自身が研究課題となっている<sup>8,9)</sup>。従って、本研究では基本立体を用いてオブジェクトを構築するのではなく、専用モデラーを用いて C-code に変換する。具体的には、L-system を利用したソフトウェア Xfrog (greenworks 社) で構築された樹木オブジェクトを 3D フォーマットコンバーター PolyTrans (Okino Computer Graphics 社) でオブジェクトデータを C-code に変換して、シミュレーション内部に読み込むこととした。これによって、様々な樹種を対象としたシミュレーションが可能となる。また樹木オブジェクト以外は OpenGL で作成した。

本 3DCG シミュレータでは、ビーグルに接続されたロボットマニピュレータを用いてセンシングを行うことを前提としている。ロボットマニピュレータは複数の関節とリンクから成り立っており、エンドエフェクタにセンサとしてカメラを装着したものを想定した。

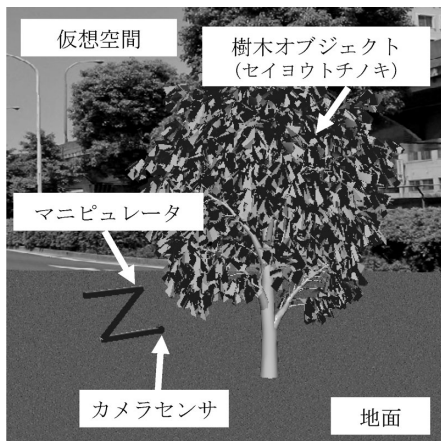


図 2 3DCG シミュレータの基本構成

OpenGL では、スクリーン上に投影できる空間（視体積）を設定し、視点と注視点（注目点）を決定することで描画した 3DCG をユーザーは閲覧可能となる。視点は任意に設定でき、エンドエフェクタの座標を視点にすることによって、マニピュレータに装着したカメラ画像を得ることができる。視点を  $(V_x, V_y, V_z)$ 、注視点を  $(C_x, C_y, C_z)$  とすると(1)式が成り立つ。

$$\begin{aligned} C_x &= V_x - L \cdot \cos \varphi \cdot \sin \theta \\ C_y &= V_y - L \cdot \sin \varphi \\ C_z &= V_z - L \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta \end{aligned} \tag{1}$$

(1) 式より注視点でのカメラ画像を得ることが可能となる。なお、 $\theta, \varphi$  は極座標系における方位角・仰角であり、 $L$  は視点距離を表す（図 3）。

(3) 3DCG シミュレータの基本機能と特徴

構築したシミュレータは、コマンドやマウス入力が可能であり、ウィンドウのリサイズなどにも対応している。視点はドリー、パン、チルト、タンブル、ズームなど、基本的なカメラワークを可能とした。視点は大きく分けて仮想空間全体を見渡す画面と、エンドエフェクタのカメラセンサ画面に切り替えることが可能である。

またテクスチャマッピングを用いて都市空間画像を仮想空間上に設置した。OpenGL では、テクスチャマッピングによりオブジェクトへの画像の貼り付けが可能である。テクスチャマッピングとは、3DCG で物体の表面の質感を表現するために画像を貼り付けることを指す。また貼り付ける画像のことをテクスチャという。現実に近い仮想環境を構築できる上にシミュレーション時のメモリ消費を節約できるなどの利点が存在する。

IV. 樹木の画像認識手法の開発

(1) 樹木認識アルゴリズム

街路樹診断にとっての第一歩は都市空間内での樹木認識となるため、ロボットマニピュレータのカメラセンサで取得した RGB カラー画像を用いて樹木認識を行った。本研究の前提として、道路側からロボットは画像を取得し、着目する街路樹は手前に見えるものとする。またここでは紅葉時などは考えないこととし、特に植物の緑色である G 成

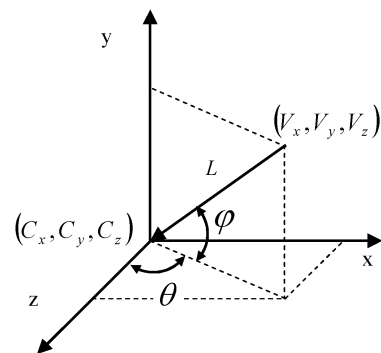


図 3 視点と注視点

分に着目して樹木の葉を認識した。

画像情報と処理の流れを図4に示す。まず、仮想空間上のカメラから取得されたRGB画像から樹木を認識するためにG成分に着目し、(2)式のアプローチを構築して情報を変換した。

$$\begin{aligned} \text{If } I_G \geq \max\{I_R, I_B\} \text{ then } I_R=0, I_B=0 \\ \text{else } I_R=0, I_G=0, I_B=0 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $I_R$ : RGBカラー画像配列におけるR成分の光強度、 $I_G$ : G成分の光強度、 $I_B$ : B成分の光強度である。

次に、輝度情報が0で無い場合に限定し、判別分析法で2値処理を実行した<sup>10)</sup>。これは画像の濃度ヒストグラムから統計的に最適な閾値を決定する方法である。各レベルに属する画素を2クラスに分類すると、クラス間分散 $\sigma_B^2$ を最大にする時に閾値 $th$ は2クラスの間隔を最適にする。画像の全分散 $\sigma_T^2$ は $th$ に依らないため、クラス間分散との比をとったクラス分離度 $\eta$  ( $0 \leq \eta \leq 1$ ) がその閾値の良さの評価値となる。 $\eta_{\max}$ が最適な閾値 $th^*$ で2値化した時の画像の分離度を表している(3)式)。

$$\eta_{\max} = \max_{0 \leq th \leq 255} \left\{ \frac{\sigma_B^2(th)}{\sigma_T^2} \right\} \quad (3)$$

その後、画質やノイズの影響を除去するため、画像の平滑化処理を行った。具体的には、メディアンフィルタ処理、収縮処理、膨張処理を実施している。メディアンフィルタは目的画像のエッジを劣化させることなく雑音を除去する方法である。収縮はある画素の近傍に1つでも0があればその画素を0に、その他を1にする処理であり、逆に膨張はある画素の近傍に1つでも1があればその画素を1に、その他を0にする処理で、両者ともにノイズ除去効果のあるスムージング手法である<sup>11)</sup>。特に膨張と収縮を繰り返すことによって細かな画素をグループ化し、認識し易くした。

最後に、ラベリングによって2値画像からオブジェクト

をそれぞれ識別し、各面積情報を算出後、面積が最大のオブジェクトを抽出した。ラベリングとはつながった画素(連結成分)に同じラベル(番号)をつけることである。その後抽出したオブジェクトの重心を算出した。画像処理における重心とは抽出されたオブジェクトの画素の平均位置を指す。

## (2) 樹木認識結果

背景を建物や電車などの人工物のみのもとの、他の街路樹(高木・低木)を含むものを2種類、カメラセンサについては、仰角 $\phi$ を一定とし、方位角 $\theta$ を $5^\circ$ 毎7種類、視点から注視点までの距離 $L$ は2種類変更し、計28枚の画像に関してシミュレーションを行なった。

図5に開発した樹木認識アルゴリズムの実行結果例を示す。背景は人工物のみのものである。都市空間は複雑なので他の街路樹が存在しなくてもG成分が最大の画素が背景に存在し、(b)のようにその2値画像は多くのノイズを含んでいる。ここで特に膨張と収縮処理を繰り返す平滑化処理を実行すると、(c)に示すように画素がグループ化してノイズが少なくなり、認識し易くなる。その後ラベリングを行なって(c)の個々のオブジェクトから面積情報を算出し、最大のもののみ抽出したのが(d)であり、平滑化処理で残されたノイズが除去されているのが分かる。背景に街路樹などが無い場合、樹木の認識は非常に良好だった。

また、背景に他の街路樹などがある場合の樹木認識結果の例を図6に示す。(b)の丸は算出された重心位置を示している。遠くからのセンシングでは他の街路樹も認識に影響を与えるが、注目する樹木の影響がより大きいので、重心は着目する樹木中央部に位置していた。また、近くからセンシングを行なった場合、背景の影響は更に少なくなるため、他の街路樹の有無によらず非常に良好な結果となっていた。

シミュレーションを行なった28枚の画像に関して、算出された重心は全て着目する樹木画像の中心部に位置し、正しく自動認識がされていることが分かった。なお、認識された樹木の葉の画素と原画像が完全に一致していない場合もあるが、樹木の葉部全体を認識する際は問題が無い。画素の完全な一致が自動認識の性能と同義ではなく、特に算出された重心が樹木葉内であるかが重要と考える。

## V. 結 言

以上のように、本論文では次の3点を行なった。

1. 現在の街路樹管理の問題を指摘し、これを改善する街路樹管理支援システムを新しく提案した。
  2. 街路樹管理支援システムのうち、診断ロボットによるセンシングを想定した3DCGシミュレータを構築した。これはシミュレーション部にも技術流用できる基盤技術といえる。
  3. 仮想空間で樹木認識アルゴリズムを開発し、都市空間内での自動認識を可能とした。
- 今後の課題としては次が挙げられる。

1. 樹木認識アルゴリズムの高度化とビーグルの誘導

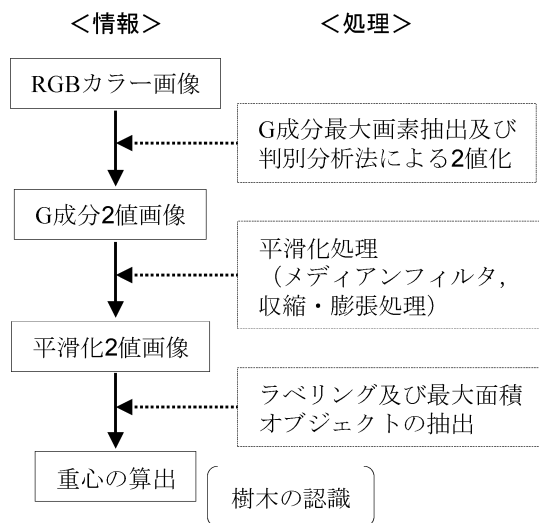
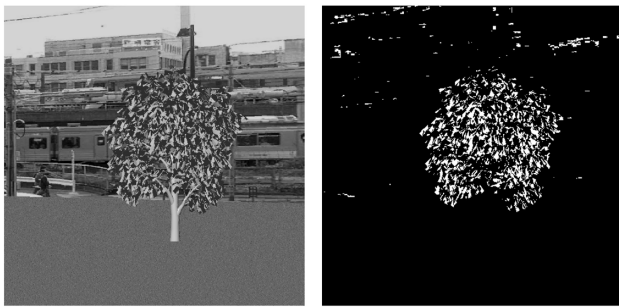
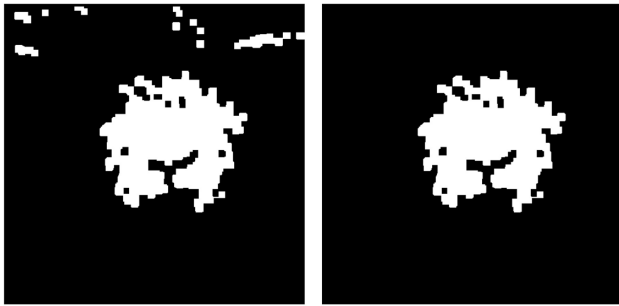


図4 画像処理の流れ



(a) RGB画像

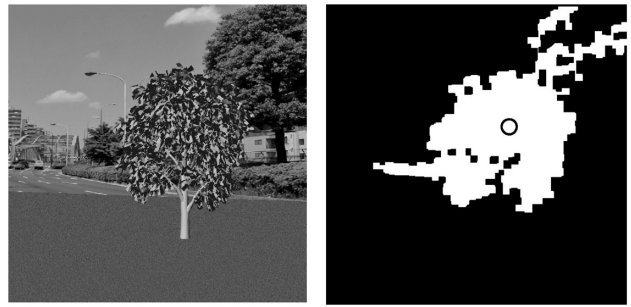
(b) G成分2値後



(c) 平滑化処理後

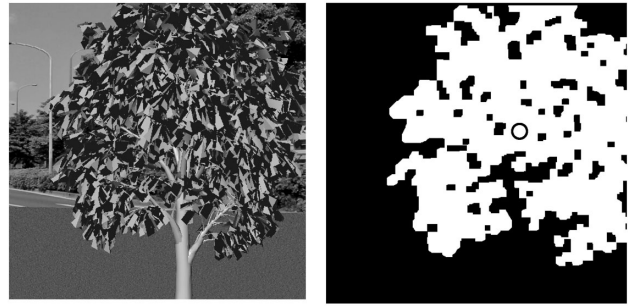
(d) 認識した樹木

図5 樹木認識アルゴリズムの実行結果例  
(他の街路樹などがない背景)



(a) RGB画像

(b) 認識した樹木



(a) RGB画像

(b) 認識した樹木

図6 樹木認識結果例 (他の街路樹などがある背景)

2. アクティブセンシングによる樹木情報の獲得手法の検討
3. 仮想空間における樹木の樹勢、活性、病害/虫害の自動診断の検討
4. 街路樹管理支援システムの他の部分の構築  
特に樹木認識アルゴリズムについては更に様々な都市空間においても柔軟に樹木認識ができるようにマニピュレータ制御も含めて改善しなければならないと考える。

参考文献

- 1) 渡辺達三:「街路樹」デザイン新時代, 装華房, 2000.
- 2) 東京都建設局 Web サイト: 街路樹のはたらき, <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/gairojyu/hyoushi3/index.htm> (2006年10月20日現在)
- 3) 日本樹木医会: TREE DOCTOR No. 7 樹木医と街路樹, 日本樹木医会, 1999.

- 4) 日本樹木医会: TREE DOCTOR No. 8 市民と樹木医, 日本樹木医会, 2000.
- 5) (財)日本緑化センター Web サイト: 樹木医制度, <http://www.jpgreen.or.jp/treedoctor/index.html> (2006年10月20日現在)
- 6) 日本樹木医会 Web サイト: <http://jumokui.jp/> (2006年10月20日現在)
- 7) 日本樹木医会: 樹木医 治療カルテ—樹木診断・治療事例集一, 日本樹木医会, 2004.
- 8) 大西克彦・蓮池祥一・北村喜文ら: インタラクティブな生長シミュレーションによる仮想樹木モデルの生成, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 5 (3), 27-32, 2003.
- 9) 村上礼繁・大西克彦・北村喜文ら: 生長シミュレーションを利用したジェスチャ入力による樹木モデルの生成手法の検討, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 6 (3), 93-98, 2004.
- 10) 大津展之: 判別および最小二乗規準に基づく自動しきい値選定法, 電子通信学会論文誌, J63-D (4), 349-356, 1980.
- 11) 井上誠喜他: C 言語で学ぶ実践画像処理, オーム社, 1999.

# Tree Recognition in Virtual Space Assuming Management and Diagnostic Robot for Roadside Trees

By

Yutaka SASAKI\*, Kiyoshi TAJIMA\*, Shunta INOUE\*\* and Masato SUZUKI\*\*

(Received October 25, 2006/Accepted March 15, 2007)

**Summary** : Roadside trees have important roles and functions in the urban space, such as improving traffic safety and comfort, urban greening, amenity effects, disaster prevention, ecosystem formation, and continuance of history and urban culture. On the other hand, due to the poor quality growing space, there are problems such as damage caused by disease and harmful insects, the use of agricultural chemicals, and the problem of fallen trees due to rot bacteria. Despite the fact that there are a large number of roadside trees, there are few tree doctors who can make diagnoses. Efficient and objective diagnoses and management support based on accumulated data is essential for future roadside tree management. Therefore, this study firstly proposed a roadside tree management support system. Then, after turning the focus to diagnostic robots as part of the system's function and constructing a 3DCG simulator, a tree recognition algorithm using a diagnostic robot in virtual space was examined.

**Key words** : Roadside tree management, Automatic diagnosis, Robot, Virtual space, Image recognition

---

\* Department of Bioproduction and Environment Engineering, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Department of Production and Environment Science, Faculty of Agriculture, Niigata University