

4. 公園建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究

AN ESTIMATION OF CARBON DIOXIDE EMISSION FROM CONSTRUCTION OF PARKS

伊藤武美*、花本啓祐*、本多博**
Takemi Ito*, Keisuke Hanaki*, Hiroshi Honda**

ABSTRACT ; It was attempted to use life cycle assessment (LCA) to evaluate environmental impacts of parks in an actual new habitation district, having population of 9,600 and an area of 162 hectares. Carbon dioxide (CO₂) emission was chosen as a global environmental impact indicator. CO₂ emission from land construction works of the district was estimated as 681ton-C by using combination of the input-output analysis and the process analysis.

CO₂ emission from material accounted for nearly 87% of the total CO₂ emission from the park construction works. Cement, concrete brick, and fresh concrete were major contributors to this fraction. CO₂ emission per area of block parks was estimated as 8.8kg-C/m². CO₂ emission in the construction and operating and maintenance stage was estimated 2539ton-C assuming 30-year period of use. In order to reduce CO₂ emission from the park, it is important to choice low CO₂ emission material and design, satisfying same activities.

KEYWORDS ; life cycle assessment(LCA), urban developing planning, carbon dioxide emission, park construction

1. はじめに

近年の地球環境問題の高まりの中で、「持続可能な開発 (Sustainable Development)」の視点が1992年6月の国連環境開発会議で合意された。その後、環境基本法、地球温暖化防止計画、環境政策大綱、気候変動枠組み条約等が成立し、地方自治体においてもローカルアジェンダ等の取組が始められている。都市づくりにおいても事前に地球環境に及ぼす影響を把握し、削減に向けた行動は重要なものとなっている。

筆者らは都市づくりの新たな概念では、(1)都市域内での構成要素の調和・充実を図ることと(2)都市域外に対してエネルギー・物質代謝に関する負荷を軽減することの2点が重要と捉え¹⁾、特に、後者については都市の建設・運用・解体等のライフサイクルを通じた長期的かつ都市スケールでの評価を重視している²⁾。また、近年、都市やインフラを対象としたライフサイクル評価 (LCA) に関してインベントリー分析を主に多様な研究が発表されている。³⁾⁻⁶⁾ 公園は、都市施設の中でも、道路や上下水道等のインフラと比べて仕様、デザイン、材料選定等の面において自由度が高く、生活者のアメニティ向上や樹林による二酸化炭素 (CO₂) 固定効果が期待できるという特徴を有することから、そのLCA的検討は有意義と考えた。

本研究では、2000年に1990年レベルに安定化するとの政府目標が達成困難な状況の下、民生部門における排出負荷削減が期待されており、比較的情報が集められているCO₂を地球環境負荷因子の一つとして選定した。多様な工種の組み合わせからなるPニュータウンの公園建設工事を対象に、まず建設段階のCO₂排出量について推計し、排出要因を把握した。次に、維持・改修段階を含めた長期的なCO₂排出構造における影響の程度を検討した。これらは、計画段階における公園のLCAのインベントリー分析部分に相当し、あわせて削減方法を考察した。

2. 解析対象公園の概要

本研究ではライフサイクルアセスメントの対象として、宮城県において施工中のPニュータウン内の公園を選定した。Pニュータウンは、標準的な丘陵地形・地質を有し、面積約162ha、戸建住宅と集合住宅あわせて約2400戸、計画人口9600人であり、街区公園4カ所、近隣公園1カ所が配置されている。

*東京大学先端科学技術研究センター Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

**大成建設(株)開発本部計画部 Planning Dept., Urban and Regional Development Div., TAISEI CORPORATION

各街区公園は、同一ニュータウン内の同規模の公園であり、同等の機能を果たしつつ遊戯施設等の施設整備程度に差異があるため、同一機能間の比較検討価値があると判断した。近隣公園については、街区公園とは規模や機能が異なるが、比較的類似な機能で規模による差異を把握するために対象とした。

表1に、各公園の概要を示す。

3.分析手法

3.1 適用した分析方式

財やシステムの波及効果を含めたエネルギー消費量や環境負荷の分析方式には、大きく分けて(1)産業連関表方式、(2)個別積み上げ方式、(3)組み合わせ方式の3種類がある。本研究では、具体的な場所における公園計画案を評価し、代替案の採用などの改善を行うためにエネルギー・物質代謝構造のようなシステム性のある対象の場合に利用できる(3)組み合わせ方式を選定した。積み上げ式と同様に公園工事に使用する材料や現場での施工機械、燃料の数量を求め、別途先行研究等で明らかにされているCO₂排出強度を乗じて、CO₂排出量を推計した。

CO₂排出強度については先行研究のなかでも作成方法や値に差異があるため、他の研究との比較や今後の更新を考慮し広く認知されている値を適用した。

本研究では、物量当たりCO₂排出強度および使用物量の双方が明らかな項目については、物価変動や人件費、個別の契約事情の影響を軽減できる長所を有する物量ベースにより推計した。その際、物量当たりCO₂排出強度の全てについて積み上げ方式による値を入手することは、他産業の多種多様な製品等を現場で組み合わせる建設業の特性から難しい。そこで、まず、積み上げ方式による物量当たりCO₂排出強度が公表されている場合は優先的に適用し、次いで産業連関表の逆行列と物量表から算定された物量当たりCO₂排出強度を用いることとした。

物量当たりCO₂排出強度または使用物量のどちらかが不明な項目については、補足的に、産業連関表による購入額当たりCO₂排出強度を用いて金額ベースにより推計することを併用した。

本研究では、宮城県で使用する資機材のCO₂排出強度に全国平均値を用いていること、また、CO₂排出強度の根拠が統一できていないこと等の課題があるが、推計全体へ与える影響の大きな項目についてはできるだけ物量ベースで推計し、相対的に影響の小さな項目は金額で簡便に扱い、項目の網羅性に配慮した。

3.2 推計手順

公園建設工事からのCO₂排出量推計の具体的な推計手順は次のとおりとした（図1参照）。

- 1) 公園工事の実施予算書および設計図書から、園路広場、休養施設、遊戯施設、修景施設、植栽等の工種毎に材料（碎石、生コン、平板ブロック等）、機械（バックホウ、ブルドーザー、トラック等）、燃料（軽油、ガソリン等）等に区分し数量を計上する。
- 2) 区分した各項目につき、物量および物量当たりCO₂排出強度が明らかな項目(A)は、両者を乗じてCO₂排出量を推計する。本研究では、CO₂排出強度に省資源・省エネルギー型国土建設技術に関する調査建築委員会が積み上げ法により求めた値⁷⁾と空気調和・衛生工学会が産業連関表から算定した値⁸⁾を引用した。
- 3) その他の項目(B)は、金額ベースで推計するため、昭和60年産業連関表の基本分類部門に対応させる。

表1 各公園の概要

名 称	面 積	特 徴
街区公園A	約5,600m ²	修景施設としてコンクリートウォールを多用
街区公園B	約7,800m ²	ステンレスモニュメントを設置
街区公園C	約9,700m ²	遊具、街灯を多数配置
街区公園D	約4,200m ²	大きなネット遊具を配置
近隣公園	約75,600m ²	尾根や自然樹林を保全した公園
合計	約102,800m ²	ニュータウン面積の6.4%

表2 主なCO₂排出強度

項 目	CO ₂ 排出強度	備 考
軽油	0.788kg-C/l	産業連関表 ⁸⁾
電力	0.131kg-C/kWh	産業連関表 ⁸⁾
セメント	0.217kg-C/kg	積み上げ法 ⁷⁾ を補正
生コンクリート	70.2kg-C/m ³	積み上げ法 ⁷⁾ を補正
コンクリートブロック	0.0671kg-C/kg	積み上げ法 ⁷⁾ を補正
レンガ	0.0629kg-C/kg	積み上げ法 ⁷⁾ を補正
樹木	0.315kg-C/千円	産業連関表 ⁸⁾
建設機械	0.817kg-C/千円	産業連関表 ⁸⁾

* 燃焼および石灰石起因部分、流通部分を含む

- 4) 卸売物価指数（建設用材料）⁹⁾ のデフレータにより、昭和60年価格に補正する。
- 5) 産業連関表による競争輸入型逆行列から求められた連関表基本分類部門毎の購入額当たり平均誘発CO₂排出量（CO₂排出強度）を4) に乗じて、CO₂排出量を推計する（表1参照）。
- 6) 2) と5) をあわせて、公園建設工事からのCO₂排出量推計とする。

4.公園工事によるCO₂排出量の推計結果

4.1 公園建設の合計

前述の推計手順により、公園工事からのCO₂排出量を推計すると、5公園の合計値は681ton-Cとなった。このうち、物量ベースの推計による量は526ton-Cで約77%を占め、残りは金額ベースの推計により補足した部分である。また、物量ベースにより推計した割合は工事金額のうち約78%に相当した。工事額当りCO₂排出量は0.5kg-C/千円、面積当りに換算すると6.6kg-C/m²に相当する。公園工事額当りCO₂排出量は、産業連関表方式の推計である片脇による1.2kg-C/千円⁵⁾ と比べて、約半分と小さめであるが、推計手法が異なることと民間ニュータウン内の公園であるため仕様等が全国平均と異なることから妥当と判断した。

公園工事をニュータウン造成工事全体の推計結果²⁾と比較すると、CO₂排出量割合は2.4%であり、面積割合の6.4%、金額割合の11%より小さい。これは、公園施工では細かな労務・人力による部分が大きいためと考えられる。

項目毎のCO₂排出量を見ると、材料による部分が86%と大きく、燃料による部分は11%、建設機械による部分は3%と少ない。燃料は、金額では 0.5%程度と小さいが、燃焼も含めたCO₂排出強度が大きいため、CO₂排出量は大きくなっている（図2参照）。

4.2 街区公園のCO₂排出量の比較

街区公園工事からのCO₂排出量は32.4ton-Cから85.1ton-Cと推計され、CO₂排出量と公園面積の間には相関が小さいことが確認できた（図3参照）。

公園毎の単位面積当たりCO₂排出量は、6.8～15.2kg-C/m²と推計され、4公園平均では8.8kg-C/m²となった（図4参照）。

工種別内訳では、園路広場部分が平均47%を占め、便益施設（車止め、水飲み、電気設備、給排水等）は平均18%、植栽（高木、低木、芝等）は平均11%で、ほぼ各公園とも同様である。一方、休養施設（ベンチ、パーゴラ等）、遊戯施設（木製、FRP製等）、修景施設部分は公園のデザインにより差異が生じる。

公園毎の特徴では、街区公園AのCO₂排出量が15.2kg-C/m²と突出して大きく、その理由は、修景施設部分にあり、材料毎のCO₂排出量の解析からコンクリートウォールの多

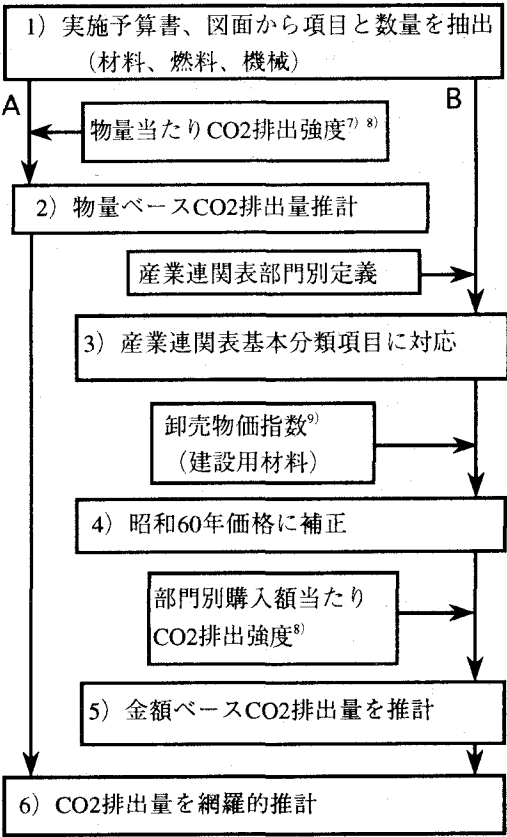


図1 CO₂排出量推計フロー
A:物量ベース、B:金額ベース

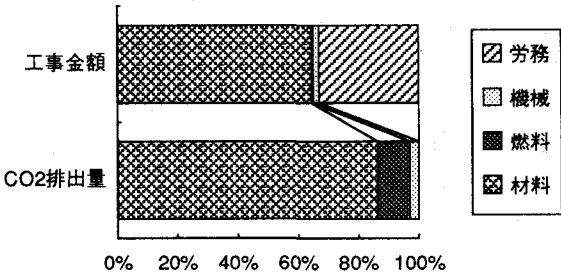


図2 公園工事によるCO₂排出量推計

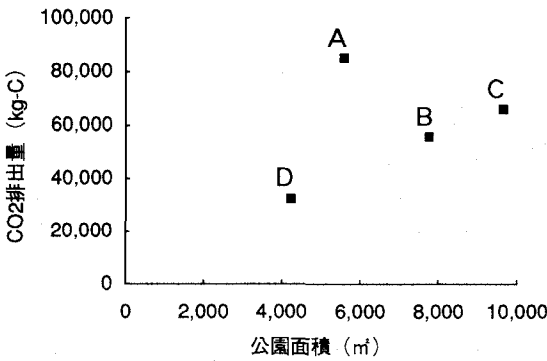


図3 街区公園面積とCO₂排出量

用によるためとわかった。CO₂排出強度が大きいコンクリートの多用には注意が必要と判断でき、意匠面で代替材料が考えられる場合には配慮が重要である。

街区公園B、C、DのCO₂排出量は6.8～7.7kg-C/m²とほぼ同水準であるが、工事費には差異がある。例えば、大きなネット遊具を配置した公園Dは工事単価が最大で、ネット遊具のワイヤーロープ部分の影響が大きく、価格が高いためと考えられる。

街区公園を構成する材料のうちCO₂排出量の大きなものは、生コン(24%)、平板ブロック・石積ブロック等(12%)、樹木・芝(11%、セメント(9%)、鉄筋(2%))等となっている。

これらの検討により、街区公園では、面積当たりの工事費とCO₂排出量とは単純に関連せず、デザインにより異なることが明らかになった。

4.3 近隣公園のCO₂排出量

近隣公園工事からのCO₂排出量は442ton-Cと推計した。単位面積当たりCO₂排出量は5.8kg-C/m²と街区公園よりも5～40%少なく、工事費は11千円/m²と街区公園より安い。

CO₂排出量の工種別内訳では、園路広場部分が54%と最も大きい。次いで修景施設が20%と大きく、これは主に、壁泉躯体のコンクリートによる。休養施設と遊戯施設はあわせて2%と小さい。

ただし、近隣公園面積の内、50%は既存林であり、この部分を除いた実質整備面積38,000m²で考えると、12kg-C/m²と大きくなり、大きな敷地の要所、要所を集約的に整備していることがわかる。

自然地形を活用するため階段、擁壁等の構造物が多くなるため、園路広場工部分によるCO₂排出量はやむを得ないが、既存林部分と人工整備部分のバランスや上物部分のデザインと仕様を考慮することで低減の可能性はある。

4.4 公園建設に関するまとめ

これらのことから、公園建設工事にともなうCO₂排出量を軽減するためには、生コン、平板ブロック・石積ブロック等のセメント製品の使用量を削減することが重要とわかった。具体的な対策としては、例えば、修景上のコンクリート擁壁、石積み擁壁の削減、平板ブロック舗装部分の削減等が考えられる。

今後の公園計画では求められる機能をふまえつつ、金額のみならず、CO₂排出量の面でも配慮することが重要と分かった。

たとえば、都市計画法施行令25条では、公園面積を開発区域面積の3%以上と規定している。また、平成4年の都市公園法の改正により、公園設置施設の自由度が大きくなっている。CO₂排出量削減の面からは、必要公園面積を確保するに当たり、街区公園と近隣公園では完全に代替可能ではないが、誘致圏距離を多少犠牲にしても、近隣公園部分を大きく集約配置する方が既存林面積の増加や施設整備のデザイン面および材料選定面で自由度が高いため、有効と考えられる。

5.公園の建設・維持管理活動を通じた評価

5.1 維持管理からのCO₂排出量の推計方法

公園の維持管理活動におけるCO₂排出量を既往研究成果を用いて簡便に推計した。

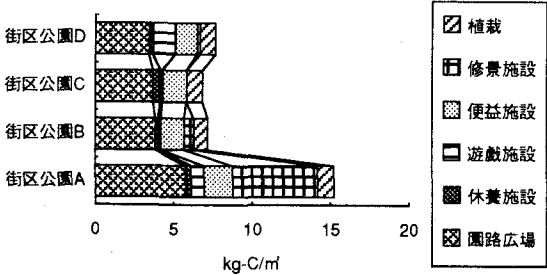


図4 街区公園面積当たりCO₂排出量

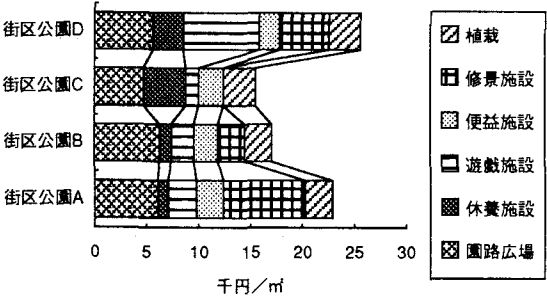


図5 街区公園面積当たり金額

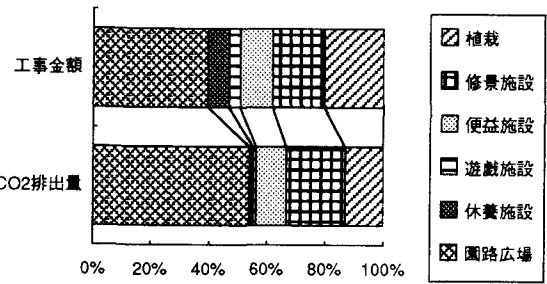


図6 近隣公園工種別CO₂排出量

公園の維持管理活動として、園路広場、遊具等の更新等と照明・ポンプ等の運用による電力消費を試算対象とした。施設毎の管理内容および補修サイクルは公園管理ガイドブック¹⁰⁾により想定し、建設した構築物の補修とみなせる部分を維持段階、新たにつくりかえる部分を更新段階と称した。公園の場合、通常、更新により永続的に使われるため、いわゆる解体段階は考えない。また、維持段階では人力による活動が建設時と比べて多いため、材料および廃棄物処理部分のみを計上した。電力消費量は年間使用時間を照明は4300hr/年、水流ポンプは2900hr/年と想定し、機器能力との積から推計し、運用と称した。

5.2 植物のCO₂固定能力の想定

ニュータウンの造成においては、通常、既存林を伐採した時点でCO₂を排出する。その後、公園等に高木、低木、地被類等の植栽が施され、その成長に伴い光合成活動によるCO₂固定が期待される。計画地の既存林はコナラを主とした落葉樹とスギ植林地であり、植栽樹種はシラカシ、コナラ、オオヤマザクラ等が多い。本研究における樹木のCO₂固定能力は、既往研究¹¹⁾から冷温帯広葉樹ナラ林の現存量4.0kg-C/m²を引用した。この値に伐採面積および植栽面積を乗じてCO₂排出量と固定量を推計した。

5.3 建設・維持管理段階を通した評価

以上の前提により、Pニュータウンの公園に関するCO₂排出量および固定量を建設・維持管理段階を通じて概観した(図7参照)。試算期間は供用開始後30年間とした。これは、公園施設は個々に更新期間が異なるが10~20年のものが多く、これらの更新期間よりも長ければおおそライフサイクルを把握できると考えたためである。

建設段階から運用開始後30年間を通した5公園のCO₂排出量は約2539ton-Cとなり、建設段階が27%、運用段階が27%、維持段階が7%、更新段階が39%を占める。建築等の例と比較して、建設段階と更新段階の比率が大きい。これは、公園では運用段階でのエネルギー消費量が比較的少なく、建築物や土木構造物と比較して耐用年数が短いためである。

公園毎の特徴では、街灯数が多い街区公園Cと壁泉用ポンプ動力を要する近隣公園において運用段階の割合が大きい。

建設前の伐採によるCO₂排出量は260ton-Cとなり、建設段階のCO₂排出量の38%に相当する。植栽によるCO₂固定量は171ton-Cとなり、伐採分の66%、運用・維持段階の20%、30年間累計の7%に相当するに過ぎない。このことから、公園で積極的に緑化を行ってもCO₂固定量面では大きな効果は期待できないことがわかった。

内陸部のニュータウンではアメニティ向上の面で親水空間の導入価値があるが、その運用に当たり電力費の低減とCO₂排出負荷削減が求められる。壁泉やせせらぎ等の水流は降雨時や夜間には必要性が乏しくなるため、晴天時を主に太陽光発電システムを導入することが考えられる。

表3 主な施設の管理内容と更新期間

施設種別	管理内容	補修サイクル
園路広場	更新 クラック穴埋め(10%) オーバーレイ(10%)	15年 4年 10年
木製ベンチ	更新 塗装 座板補修(10%)	7年 3年 6年
パーゴラ	更新 塗装 棚補修(10%)	10/20年 4年 10年
木製遊具	更新 塗装	10年 3年
砂場	更新 砂補充(10%) 縁石塗装	20年 1年 3年
コンクリートウォール	更新 塗装	20年 3年

*公園管理ガイドブック¹⁰⁾による

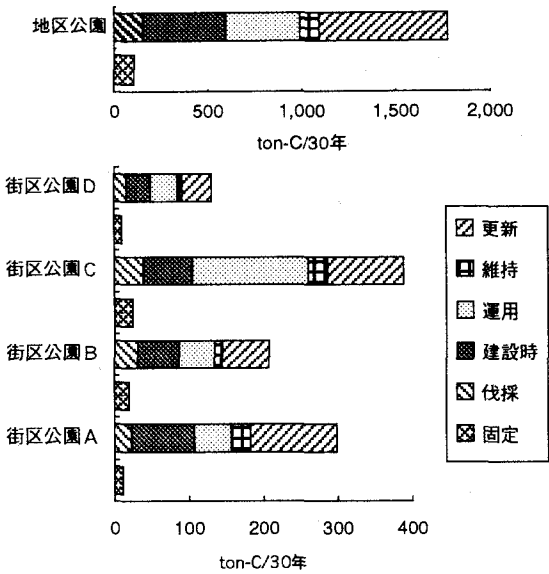


図7 公園のライフサイクルCO₂排出量(30年)

5.まとめ

本研究では、公園建設にともなうCO₂排出量を具体的なニュータウンの街区公園、近隣公園を対象に組み合わせ方式により推計し、排出構造をインベントリー分析することにより、次のことが明らかになった。

- 1) 面積 162ha、人口 9,600人のニュータウン内の公園建設に起因するCO₂発生量は約681ton-Cであり、造成工事全体の2.4%に相当する。
- 2) 公園工事からのCO₂排出量は、材料による部分が約86%と大きく、その中では生コンクリート、平板ブロック・石積ブロック等のセメント関連の占める割合が大きい。
- 3) 公園工事の工種の中で最大のCO₂を排出する園路舗装工事においては、平板ブロック・石積ブロックよるところが大きい。CO₂排出量の軽減対策としては、広場等における植栽部分の拡大等が考えられる。
- 4) 街区公園では面積当たり工事費の安い公園と面積当たりCO₂排出量の少ない公園とはデザインが異なることが分かり、今後の公園計画では求められる機能をふまえつつ、金額のみならず、CO₂排出量の面でも配慮することが重要である。
- 5) 公園からのCO₂排出量を削減するためには、近隣公園部分を大きく集約配置した方が、街区公園を多数分散配置よりも、誘致圏距離は多少犠牲になるが、既存林面積を大きく確保でき、施設整備等の材料選定、デザイン面での配慮等の対応がしやすいため有効と考えられる。
- 6) 建設段階から更新段階までを含めた30年間のCO₂排出量は2539ton-Cとなり、建設段階が27%、運用段階が27%、維持段階が7%、更新段階が39%を占める。
- 7) 建設前の伐採によるCO₂排出量は260ton-Cとなり、建設段階のCO₂排出量の38%に相当する。
- 8) 植栽によるCO₂固定量は171ton-Cとなり、伐採によるCO₂排出量の66%、運用・維持段階の20%、30年間累計の7%に相当するに過ぎない。このことから、公園で積極的に緑化を行ってもCO₂固定の面では大きな効果は期待できない。

今後の検討課題として、次の2点が挙げられる。ニュータウン全体との関連を網羅的にとらえるためには、上下水道、ゴミ、交通、維持管理等を含めた都市活動全てをとらえることが必要である。また、都市環境計画的にコントロール可能な部分と、材料仕様等の個別の設計的に対応可能な部分を明らかにし、各CO₂排出量軽減対策について重要性、容易性等を比較することが重要である。

研究にあたり、Pニュータウンの施工関連資料を提供いただいた大成建設（株）東北支店菅野俊則氏、および、公園の維持管理面の資料を提供いただいた大成建設（株）開発本部の小倉満氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 谷口孚幸・伊藤武美・末吉裕紀・谷内康弘（1993）：エコロジカル・アーバン・デザインのための都市環境評価システムの研究，環境システム研究vol.21,P319-324
- 2) 伊藤武美・花木啓祐・谷口孚幸・有浦幸隆（1995）：ニュータウン建設にともなう二酸化炭素排出量に関する研究，環境システム研究vol.23,p190-197
- 3) 片脇清士（1992）：土木建築分野での資源・エネルギー消費、環境負荷試算例，JACIC情報28号,P20-23
- 4) 岡本英靖・酒井寛二・漆崎昇（1993）：土木工事における炭素排出量の推定，第1回地球環境シンポジウム講演集，P93-98
- 5) 加藤悟・盛岡通（1994）：都市代謝基盤の環境調和性の評価に関する研究，環境システム研究vol.22,P237-242
- 6) (社)末踏科学技術協会エコマテリアル研究会（1995）：LCAのすべて、工業調査会
- 7) 省資源・省エネルギー型国土建設技術に関する調査建築委員会（1994）：省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発（建築委員会）報告書，(財)国土開発技術研究センター,P16-18・P31-36
- 8) (社)空気調和・衛生工学会地球環境に関する委員会（1995）：地球環境時代における建築設備の課題,P123-133
- 9) 東洋経済新報社（1994）：経済統計年鑑'94，P283
- 10) (財)公園緑地管理財団（1991）：公園管理ガイドブック
- 11) 品田泰・松村秀幸・他（1992）：植物による炭素固定に関する文献調査、電力中央研究所報告U91054,p8,11,26