

# 32. 建設機械のライフサイクルにおける二酸化炭素排出

独立行政法人 土木研究所：○吉永 弘志、山元 弘

## 1. はじめに

地球温暖化防止京都会議（COP3）で合意された温室効果ガス6%の削減目標を達成するためには、他の産業分野とともに建設事業における削減計画の策定、技術開発が不可欠である。図1は建設事業が国内排出量に与える影響を模式的に表現したものである。国内排出量の部門別内訳の中で、建設事業は多くの部門に関連しており、削減対策を進めるにあたっては例えば次のような視点を設定することが考えられる。

- 1) 各々の工事において実施する削減対策。
- 2) 施工法に着目し、削減対策を開発することで複数の現場での適用効果を図る対策。
- 3) 使用材料に着目し、製造・加工時の削減対策を実施することによる国内総量の削減。
- 4) 建設機械のライフサイクルに着目し、製造・稼働・廃棄時の削減対策を実施することによる国内総量の削減。
- 5) 事業計画に着目し、CO<sub>2</sub>排出量を評価することで構造規格を決定することによる対策。
- 6) 事業計画から工事の実施、維持管理に至るライフサイクルに着目しCO<sub>2</sub>排出量を総合評価することで事業計画を策定することによる長期的な削減対策。

CO<sub>2</sub>排出量は、経済成長や生活水準の向上とともに必然的に増加するため、これを抑えて削減するためには、あらゆる視点で削減対策を実施し、効果を積み上げることが必要である。

本研究は、さきの4)の視点での削減対策に着目したものである。また、削減対策を実施するに当たっては評価尺度として排出量の算定方法が規格化されていること、算定の基本となる原単位が正確に算出されていることおよび算定方法が客観的かつ簡易であることが

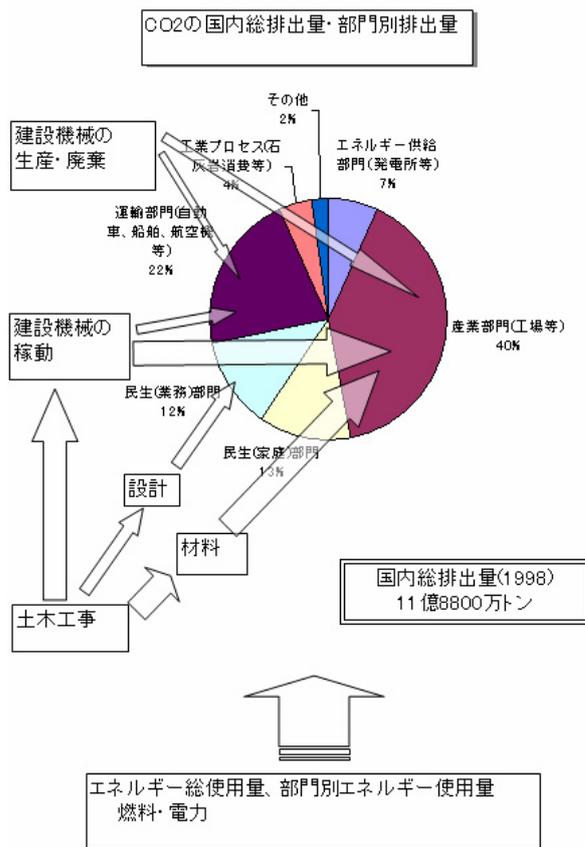


図1 CO<sub>2</sub>の国内排出量と建設事業

必要である。これまで建設機械の製造・稼働に伴うCO<sub>2</sub>排出量については算出事例もあるが、今回、機種別により詳細な調査を実施した。

## 2. 研究方法

### 2.1 算定における基本的な考え方

建設施工分野におけるCO<sub>2</sub>の排出量は、国内排出量の約1%を占める<sup>1)</sup>が、その主要な排出源は建設機械である。図2は建設機械動向調査<sup>2)</sup>による建設機械の国内保有台数の推移である。100万台以上が保有されており、1台当たりの質量が大きいものが多いため建設

機械を視点にした対策を軽視することはできない。

建設機械によるCO<sub>2</sub>の直接の排出は機械の稼働による燃料の消費であるが、図3に示すように製造や廃棄において工場の電力消費など様々な場面で間接的にCO<sub>2</sub>排出している。機械については、同じ方法で大量に製造され、使用方法も同様なため、削減対策方法が見出されると同じ方法が同種の機械全てに適用でき、波及効果が大きいと考えられる。また、工事ごとの燃料消費量や省エネによる経費節減効果とともに購入から廃棄までのライフサイクルにおける燃料費等の節約による経費節減効果が明らかになると省エネ型機械や省エネに配慮した操作方法の効果がより顕著になり、民間における自主的な取組による削減対策が促進されることになる。算出方法は図3の各過程についてエネルギー消費量、材料・製品の質量、輸送距離、稼働時間、産業連関表の原単位等を基本とし積算することとした。

## 2.2 製造過程で排出されるCO<sub>2</sub>の算定

建設機械の工場では、材料、部品、製品を購入して加工組み立てして出荷する。算出方法を図4に示す。建設機械を内作・外作に分け、工場におけるエネルギー消費量から内作におけるCO<sub>2</sub>排出量を算出するとともに重量比で外作における排出量も算出する。また、材料、部品、製品に分類し、産業連関表から個々の排出量を算出し合算する。調査は次の要領で行った。調査にあたり、用語の定義が不明確であると回答者の計上が異なり、調査結果のバラツキが大きくなるため用語について表1に示すように定義づけた。

### ◆調査対象

建設機械製造業4社

### ◆調査対象機械

バックホウ	35t,20t,6t
トラクターショベル	17t,7t
ブルドーザ	20t
ホイールクレーン	25t

また、算定式は以下のとおりとした。

### ◆算定式

#### a. 材料から発生するCO<sub>2</sub>排出量の算定

$$C_{A1} = \sum (M_j \times f_j) \quad (式1)$$

ただし、 $C_{A1}$  : 材料から発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $M_j$  : 材料j別の重量(kg/台)、 $f_j$  : 材料j別のCO<sub>2</sub>排出量原単位(kg-CO<sub>2</sub>/kg)

#### b. 内作・外作の加工・組立から発生するCO<sub>2</sub>排出量の算定

保有台数(千台)

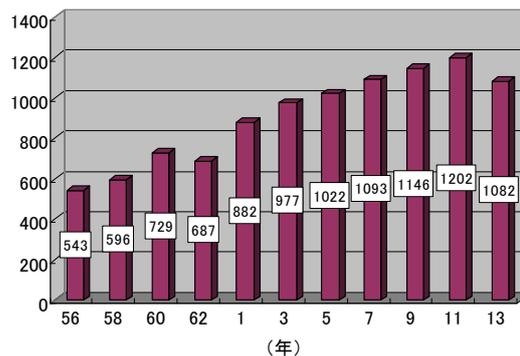


図2 建設機械の国内保有台数の推移

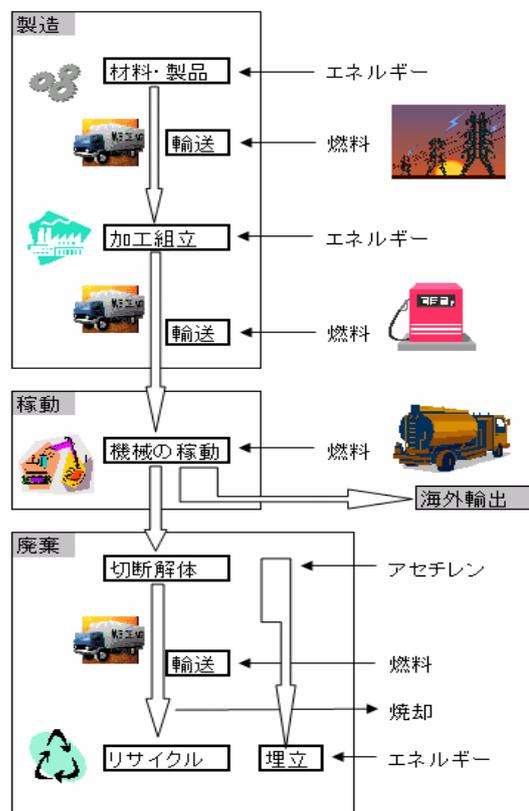


図3 建設機械のライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>排出

$$C_{A2} = (\sum M_p) \times f_p \quad (\text{式2})$$

ただし、 $C_{A2}$  : 加工・組立から発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $M_p$  : 外作、内作の部品重量(kg/台)、 $f_p$  : 外作・内作のCO<sub>2</sub>排出量原単位(kg-CO<sub>2</sub>/kg)、 $p$  : 外作・内作を表す添字

### c. 製品の加工により発生するCO<sub>2</sub>排出量の算定

$$C_{A3} = \sum (M_k \times (f_k - f_j)) \quad (\text{式3})$$

ただし、 $C_{A3}$  : 製品から発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $M_k$  : 製品k別重量(kg/台)、 $f_k$  : 製品k別のCO<sub>2</sub>排出量原単位(kg-CO<sub>2</sub>/kg)、 $f_j$  : 製品別の材料から発生するCO<sub>2</sub>排出量原単位(kg-CO<sub>2</sub>/kg)

### d. 輸送により発生するCO<sub>2</sub>排出量の算定

$$C_{A4} = \sum M_j / S \times L \times f_t \quad (\text{式4})$$

ただし、 $C_{A4}$  : 輸送により発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $M_j$  : 材料j別重量(kg/台)、 $f_t$  : 輸送トラックのCO<sub>2</sub>排出量原単位(kg-CO<sub>2</sub>/km・台)、 $S$  : 輸送トラック1台当たりの積載量(kg/台)、 $L$  : 材料、製品、建設機械の輸送距離(=600km)、 $t$  : 輸送を表す添字

### e. 製造のCO<sub>2</sub>排出量の算定

$$C_{AT} = C_{A1} + C_{A2} + C_{A3} + C_{A4} \quad (\text{式5})$$

ただし、 $C_{AT}$  : 製造のCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $C_{A1}$  : 材料から発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $C_{A2}$  : 加工・組立から発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $C_{A3}$  : 製品から発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)、 $C_{A4}$  : 輸送により発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)

## 2.3 廃棄過程で排出されるCO<sub>2</sub>の算定

建設機械を更新、廃棄する際には、中古として海外で使用される場合と廃棄される場合があり、国内のCO<sub>2</sub>排出量に影響がある廃棄処分について調査した。建設機械を表2のように材料ごとに分類し、処分過程で排出される排出量を積み上げて算出した。

算出式は次とした。

$$C_{CT} = C_{C1} + C_{C2} + C_{C3} + C_{C4} \quad (\text{式6})$$

ただし、 $C_{CT}$  : 廃棄、 $C_{C1}$  : 切断・解体、 $C_{C2}$  : 輸送、 $C_{C3}$  : 埋立、 $C_{C4}$  : 焼却により発生するCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/台)

## 2.4 稼働時に排出されるCO<sub>2</sub>の算定

稼働時に排出されるCO<sub>2</sub>は、既存資料<sup>1)</sup>に示されている年間排出量の算定式を参考として図5に示すよう

### ■ 積み上げ+産業連関法 ■

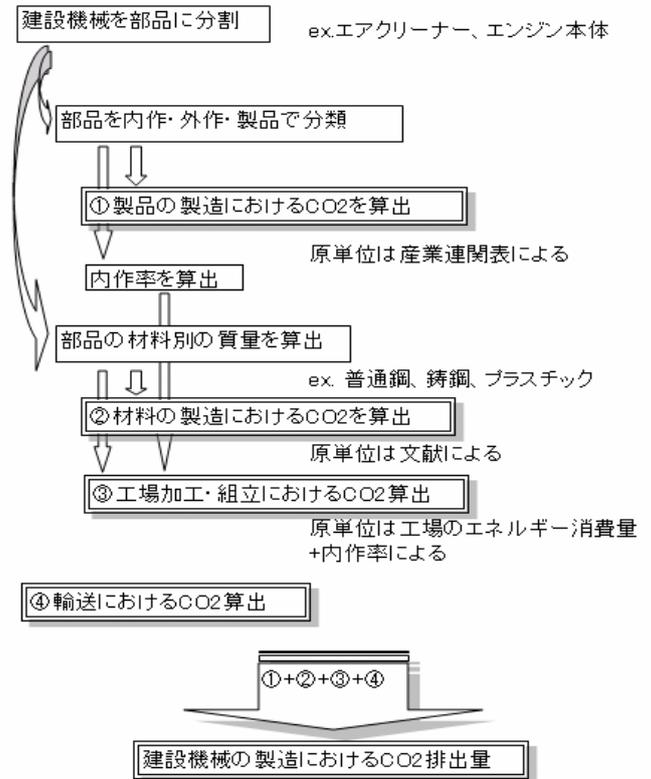


図4 建設機械の製造過程におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出

表1 建設機械の製造における用語の定義

用語	定義
材料	鋼板、樹脂など建設機械の部品になる前の材料をいい、建設機械では①鉄、②非鉄金属、③コンクリート、④ゴム、⑤プラスチック、⑥油脂・塗料、⑦作動油・軽油の7種類に分類する。
製品	建設機械の部品として購入する製品とするが、産業連関表にCO <sub>2</sub> の排出原単位が設定されている等の条件を満たすものとする。
内作	全て自社工場内で、材料を部品に加工することをいう。なお、工程別CO <sub>2</sub> 排出比率の高い「溶接」、「機械加工」を自社工場で行っているものについては、「内作」として扱う。
加工	切削、熱処理、溶接などにより材料から部品を製作する作業をいう。
外作	自社工場以外(外部)に発注して材料から部品に加工することをいう。なお、外作で加工された部品は、組立ラインにそのまま供給できるものとする。
組立	部品、製品をネジ、ピン等で建設機械に組立てる作業をいう。
加工・組立	内作による部品の製作及び部品等を用いて建設機械を組立てる工程をいう。
製造	材料、製品の搬入から建設機械の出荷までの工程をいう。
輸送	材料、製品の輸送、建設機械の出荷等に伴う輸送をいう。
稼働	建設機械を建設工事現場で使用するをいう。
廃棄	建設機械の海外輸出、および回収・解体・運搬・処分等までの工程をいう。

表2 廃棄過程で排出されるCO<sub>2</sub>排出量の算出

材料	処分方法	CO <sub>2</sub> 排出由来
鉄・非鉄金属	鉄屑	アセチレンの使用・輸送
コンクリート・プラスチック等	埋立	輸送・埋立
作動油・油脂等	焼却	輸送・焼却

に(ライフサイクル運転時間)×(時間当たり排出量)を基本として算出することとした。

ライフサイクル運転時間は建設機械損料表に記載されている(標準耐用年数)×(年間標準運転時間)を採用することとした。建設機械損料表は、国土交通省が総務省の承認統計として国土交通省の有資格者名簿に記載された業者を対象として実施したものである。稼動時間については平均的に稼動している機械のものを対象としており、標準使用年数は処分機械について購入年、稼動時間を調査したものである。

時間当たり排出量は軽油の排出量原単位に基づくこととしたが、原単位は出力当りの排出量となっているため、定格出力から計算できるように負荷率をかけている。負荷率は工事費の積算で使用している実作業時の燃料消費率(出力の条件が定格出力)とCIモード<sup>※1</sup>の燃料消費率(出力の条件が軸出力)の比である。

※1 CIモード:ISO 8178-4に規定された建設機械等に用いられるエンジンの排出ガステストサイクル。

### 3. 調査結果

#### 3.1 製造過程で排出されるCO<sub>2</sub>

表3、表4はバックホウおよびブルドーザの製造過程のうち材料に由来するCO<sub>2</sub>排出量の算出例であり、図6は材料別の排出量を図示したものである。製品に含まれる鋼材や作動油、油脂等は別途、製品の排出量において算定している。ブルドーザは、質量当りの排出量が多い鋳鋼、鍛鋼の割合が高く、バックホウと比較して排出量が多くなっている。材料の質量の合計が建設機械の質量よりも多くなっているが、歩留まりを考慮したためである。表5は歩留まりの調査結果である。平均的な値は75%程度である。

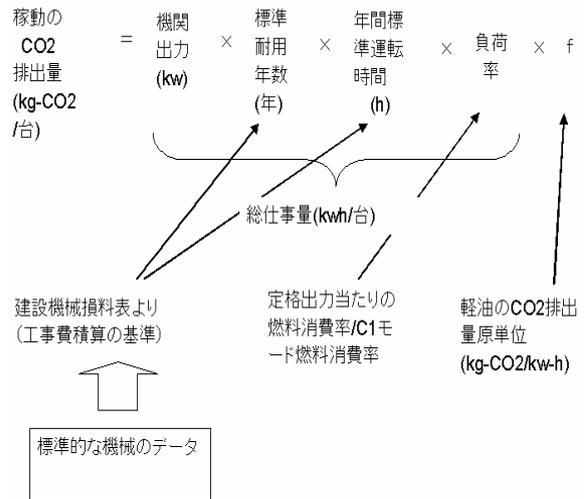


図5 建設機械の稼動時におけるCO<sub>2</sub>排出量の算出

表3 20t クラスバックホウの材料別質量構成とCO<sub>2</sub>排出量

材料の種類	合計質量(kg/台)	構成割合(%)	排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kg)	CO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> /台)	CO <sub>2</sub> 排出割合(%)
鋳鋼	1,417	6.2	4.28	6,072	17.1
鍛鋼	3,217	14.0	2.89	9,283	26.2
普通鋼	14,878	64.9	1.30	19,387	54.7
非鉄金属	31	0.1	4.60	144	0.4
コンクリート	3,293	14.3	0.12	398	1.1
ゴム	60	0.3	1.28	77	0.2
プラスチック	45	0.2	1.61	73	0.2
油脂・塗料	11	0.0	2.44	26	0.1
合計	22,954	100.0	-	35,462	100.0

表4 20t クラスブルドーザの材料別質量構成とCO<sub>2</sub>排出量

材料の種類	合計質量(kg/台)	構成割合(%)	排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kg)	CO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> /台)	CO <sub>2</sub> 排出割合(%)
鋳鋼	6,881	27.8	4.28	29,478	47.3
鍛鋼	5,600	22.6	2.89	16,161	26.0
普通鋼	11,984	48.5	1.30	15,614	25.1
非鉄金属	195	0.8	4.60	897	1.4
ゴム	47	0.2	1.28	61	0.1
プラスチック	20	0.1	1.61	32	0.1
合計	24,727	100.0	-	62,243	100.0

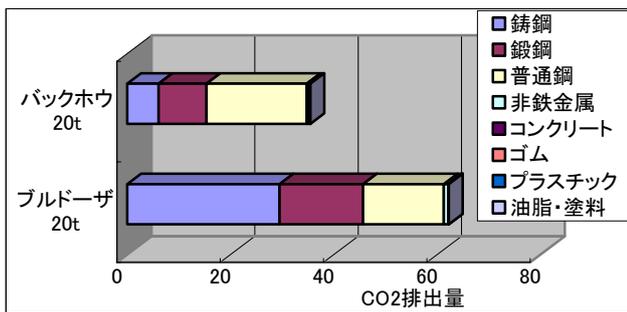


図6 建設機械の製造における材料別CO<sub>2</sub>排出量<sup>※2</sup>

※2 製品として購入した作動油等を除く

表5 歩留まりのメーカー調査結果

メーカー	対象部品	歩留まり (%)
A社	(全機種として)	71.0
B社	バックホウの例	75.4
C社	切板の場合	70-80
D社	ブーム、アームの切断	70-80

製品に由来するCO<sub>2</sub>排出量は製品内訳のそれぞれに排出原単位を乗じることで算出した。組み立て加工に由来するCO<sub>2</sub>排出量は、工場における重油、電気の使用による排出量と生産質量から生産質量当りの排出量を算出し、各機種ごとの生産質量に乗じることで算出した。また、輸送に由来するCO<sub>2</sub>排出量は、輸送質量、トラックの輸送距離当りの排出原単位、輸送距離から算出した。表6は製造のCO<sub>2</sub>排出量の算出結果である。質量当りに換算するとバックホウに比べてトラクターショベル、ブルドーザが大きくなるが、鋳鋼・鍛鋼の割合が大きくなるためである。また、今回の調査結果を他の調査結果と比較したのが表7である。建築学会は質量当りで、総プロは機械の価格当りで建設機械全体について同じ原単位を使用しており、建築学会の値は今回調査のブルドーザと同程度となる。本調査結果は、他の調査結果と比較しても妥当と考えられる。

### 3.2 廃棄過程で排出されるCO<sub>2</sub>

表8は廃棄過程で排出されるCO<sub>2</sub>の調査結果である。20tバックホウで製造過程の3%程度であるが、建設機械の国内での解体率は14%程度であり、寄与率では0.4%程度となる。

### 3.3 稼働時に排出されるCO<sub>2</sub>

稼働時に排出されるCO<sub>2</sub>を表9に示す。使用年数、年間運転時間は「建設機械等損料算定表」によった。

またエンジンの排出原単位および負荷率は文献<sup>1)</sup>に記載されている値を使用した。

なお、「建設機械等損料算定表」の値は建設業保有機械を対象としたものであるが、リースレンタル業保

表6 建設機械の製造過程で排出されるCO<sub>2</sub>

機種	材料	製造のCO <sub>2</sub> 排出量 t-CO <sub>2</sub> /台				合計
		製品	加工組立	輸送		
バックホウ	6t	10.7	4.3	3.2	0.4	18.6
	20t	35.5	4.3	4.6	1.4	45.8
	35t	64.6	6.5	10.4	2.4	83.9
トラクターショベル	7t	8.1	21.0	2.2	0.5	31.8
	17t	43.1	14.2	12.6	1.3	71.2
ブルドーザ	20t	62.2	4.6	12.0	1.5	80.3
ホイールクレーン	25t	43.1	36.5	8.0	2.0	89.6

表7 原単位の比較

機種	算定方法	機械質量当り t-CO <sub>2</sub> /t
バックホウ 20t	積み上げ方式+産業連関方式 (本調査結果)	2.3
		4.0
鉦山・土木建設機械	産業連関法(建築学会)	4.2
バックホウ 20t	総プロ (土木分野) (価格当り原単位)	2.2
自動車 1.3t	積み上げ方式+産業連関方式 (日本自動車工業会)	2.6

表8 建設機械の廃棄過程で排出されるCO<sub>2</sub>

機種		廃棄の各過程におけるCO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /台)				合計 (kg-CO <sub>2</sub> /台)
		切断・解体	輸送	埋立	焼却	
バックホウ	6t	16	59	46	387	508
	20t	47	188	254	841	1,330
	35t	76	316	437	1,575	2,404
トラクターショベル	7t	17	65	36	671	789
	17t	45	169	82	1,007	1,303
ブルドーザ	20t	57	203	7	1,043	1,310
ホイールクレーン	25t	71	258	58	2,339	2,726

有機械の保有割合が増加しているため、今後、CO<sub>2</sub>排出量の算定精度向上を図る上では考慮していく必要があると考えられる。予備的な調査であるが、図7は、建設機械リースレンタル業 30 社が保有するバックホウ 153 台のアワメータの記録の分布である。建設業保有の機械と比較して稼働時間が少ないことが推定されるが、工事が集中する時期に調達され、機械過不足の調整役を担っていることが原因と考えられる。

表9 建設機械の稼働で排出されるCO<sub>2</sub>

機種	機関出力(kw)		使用年数(年)	CO <sub>2</sub> 排出量 (t-CO <sub>2</sub> /台)
	CO <sub>2</sub> 排出原単位 (kg/kwh)	年間運転時間 (h)	年間運転時間 (h)	
			ライフサイクル運転時間(h)	
バックホウ	6t	41	7.1	106
		0.780	880	
		0.53	6,248	
	20t	141	7.1	367
		0.731	880	
		0.57	6,248	
	35t	165	7.1	430
		0.731	880	
		0.57	6,248	
トラクターショベル	7t	62	9.4	138
		0.743	600	
		0.53	5,640	
	17t	156	9.4	354
		0.731	600	
		0.55	5,640	
ブルドーザ	20t	152	9.9	295
		0.731	470	
		0.57	4,653	
ホイールクレーン	25t	193	9.9	389
		0.731	870	
		0.32	8,613	

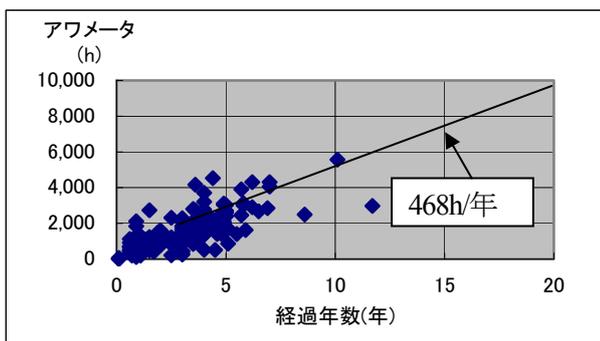


図7 リースレンタル業保有機械 (バックホウ) の稼働時間の記録 (例)

#### 4. まとめ

建設機械の製造・稼働・廃棄のライフサイクルにお

けるCO<sub>2</sub>排出量は表10とおりである。また、図8に排出割合の例を図示する。今後、削減実績を評価する際には機種の構成割合の変化、年間稼働時間の変化を考慮するか否かで結果が大きく異なることが予想される。本調査結果に限らずCO<sub>2</sub>排出量は計算結果を左右する要因が多い点を看過しないように留意する必要がある。

なお、本報告は土木研究所が独立行政法人へ移行する前に村松、江本、朝倉、水上、平下らが調査したものを筆者らがまとめたものである。

表10 建設機械のライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>排出量

機種	重量	ライフサイクルにおけるCO <sub>2</sub> 排出量(t-CO <sub>2</sub> /台)			合計 (t-CO <sub>2</sub> /台)
		製造	稼働	廃棄	
バックホウ	6t	19	106	0.5	126
	20t	46	367	1.3	414
	35t	84	430	2.4	516
トラクターショベル	7t	32	138	0.8	171
	17t	71	354	1.3	426
ブルドーザ	20t	80	295	1.3	376
ホイールクレーン	25t	90	389	2.7	482

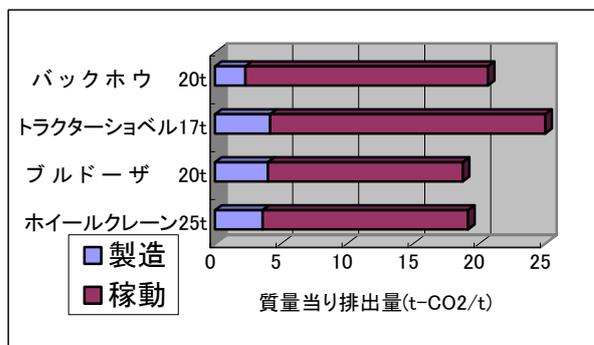


図8 建設機械のライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>排出量

#### 参考文献

- 1) 建設省建設経済局建設機械課：平成11年度 建設技術開発会議 建設施工の環境・安全政策部会 第1回 建設施工の地球温暖化対策検討分科会 資料 1-6 建設機械からの年間二酸化炭素総排出量 1-7 建設機械及び施工に関する地球温暖化技術
- 2) 経済産業省・国土交通省：平成13年度 建設機械動向調査報告