

No.

大規模森林回復技術マニュアル

(ドラフト ファイナル)

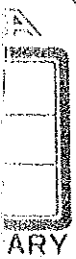
平成5年3月

国際協力事業団

林開計

JR

93-9



ARY

JICA LIBRARY



1104183171

24844

大規模森林回復技術マニュアル (ドラフト ファイナル)

平成5年3月

国際協力事業団

国際協力事業団

24844

目 次

要 約	(1)
I. 総 論	1
1. 航空機造林の目的	1
2. 航空機造林の特性	1
3. 航空機造林の現状	2
II. 計画調査	5
1. 航空機造林対象地域の検討	5
1-1 対象地域の検討	5
1-2 基礎調査	6
(1) 気 象	6
(2) 地 形	7
(3) 地 質	7
(4) 土 壌	8
(5) 植 生	9
(6) 社会経済	9
1-3 衛星データによる植生、土地利用調査	10
(1) 衛星データの利用	10
(2) 衛星データの入手	13
1-4 航空写真による植生、土地利用調査	14
(1) 航空写真の利用	14
(2) 航空写真の入手	15
2. 航空散布樹種の選定	16
2-1 樹種の選定	16
2-2 種子の確保	17
2-3 種子の生理的特性	17
2-4 種子の品質の判定	19

2-5	発芽率及び粒数	19
3.	航空機造林の適地	22
3-1	適地の考え方	22
3-2	自然条件からみた適地	22
4.	地表処理	23
4-1	地表処理の考え方	23
4-2	地表処理の種類	24
4-3	地表処理の方法	25
5.	航空機の選定等	26
5-1	機種を選定	26
5-2	散布方式	27
5-3	散布装置	28
5-4	飛行諸元等	31
(1)	積載量	31
(2)	ヘリコプターの性能と積載能力	31
(3)	飛行速度及び飛行時間	37
(4)	飛行高度及び飛行間隔	37
(5)	飛行諸元と散布材料の落下分散	39
(6)	作業工程	39
(7)	飛行基地及び作業基地等の条件	40
6.	事業計画	44
6-1	計画の基本的考え方	44
6-2	機械及び諸施設	45
6-3	飛行経費の内容と積算	47
(1)	飛行経費	47
(2)	飛行関連経費	49
6-4	作業スケジュール	50
III.	準備作業	52
1.	種子の準備	52
1-1	種子の調達	52

1-2	種子の精選	56
1-3	種子量の算出	57
1-4	種子の貯蔵	58
1-5	発芽促進方法	61
	(1) 発芽促進処理	61
	(2) 機械による発芽促進処理	62
2.	種子の加工	63
2-1	コーティング材料	63
2-2	コーティング加工	64
2-3	コーティング種子の貯蔵	64
3.	地表処理	65
3-1	火入れ作業	65
3-2	機械作業	65
4.	飛行準備	66
4-1	飛行に必要な諸手続き	66
4-2	散布地図の作成	66
4-3	飛行経路	66
4-4	標識類及び信号	67
4-5	飛行の可否の決定	68
4-6	作業時間等	68
4-7	作業員等の服装	68
5.	現場管理体制等	69
5-1	現場管理体制	69
5-2	安全管理	69
IV.	種子の航空機散布	71
1.	散布区域の標示	71
2.	散布飛行の要領	71
3.	散布後の措置	72
4.	監督、検査	73
4-1	監督	73

4-2 検査	73
V. 維持管理	75
1. 維持管理	75
1-1 保育	75
1-2 モニタリング	75
2. 保護	76
2-1 気象	76
2-2 病虫害	76
2-3 山火事	80
VI. 環境造林の想定されるすがた	81
参考文献	83

要 約

1. 大規模造林の目的

水源かん養機能の回復、砂漠化の防止、地球温暖化の抑制等のための造林『環境造林』を大規模かつ緊急に実施することが不可欠となっているが、この『環境造林』事業を進めるために、造林の早さ、規模、低コストを追求する大規模造林とりわけ航空機造林が有望な方法として今後活用が期待される。

2. 航空機造林の特性

① 利 点

- a. 空中作業が主体であるので、運搬等に関する地理的、地形的制約が少ない。
- b. 材料の運搬及び散布などの作業が連続工程であるため省力的で、かつ短期間で大面積の造林が可能である。
- c. 航空機で種子を散布するので苗畑を必要としない。
- d. 苗木による造林よりも低経費である。

② 弱 点

- a. 造林成績が不安定である。
- b. 空中散布であるので、地形によっては均等な散布に難がある。
- c. 散布した種子が雨水によって流亡するおそれがある。また、小動物の食餌となり、損失のおそれがある。
- d. 風、霧などの天候条件によって、作業が制約されることがある。

3. 航空機造林対象地域の検討

(1) 対象地域の検討

航空機を利用した大規模造林は、特に以下のようなところで利点大きい。

- a. 遠隔地
- b. 粗放であっても早急な植生の回復が求められているところ
- c. アクセスが困難なところ
- d. 人口希薄地
- e. 大量の苗木生産が困難なところ

f. 必要造林面積が大きいところ

(2) 基礎調査

航空機造林の適切な計画を策定するためには、対象地の気象、地形、土壌、植生、野生動物等の自然的条件ならびに事業実行に関する制約条件、社会経済的条件の基礎的事項について調査を行う必要がある。

調査項目のうち、航空機造林にとって特に重要と考えられる項目は以下である。

① 気象

気象の主な調査項目は以下である。

- a. 気 温 …… 年平均気温、月平均気温
- b. 降水量 …… 年降水量、月別降水量、日最大雨量

注) 気象データは10年間位の統計が望ましい。

② 地 形

地形の主な調査項目は以下である。

- a. 傾 斜
- b. 標 高

③ 地 質

地質の主な調査項目は以下である。

- a. 地質分類
- b. 基岩の種類と破碎、風化の状況

④ 土 壤

航空機造林の場合は、造林上問題となる土壌の存在が確認できれば十分であるので、代表的な地形及び植生の箇所を選定して調査する。

土壌の主な調査項目は以下である。

- a. 土壌型別分布
- b. 土 性
- c. 土壌硬度
- d. 土壌酸度 (pH)

⑤ 植 生

造林対象地の原植生について、周囲の森林から原植生の種類、出現状況、生育状況等、特に優占樹種の天然更新の状況を調査することが必要である。

これらの調査は、適正な造林樹種、品種の検索及び選定等のための資料となる。

⑥ 社会経済

航空機造林計画の策定に当たっては、極力関係資料の収集を図るほか、聴き取り調査及び航空写真を利用して、現地での労務の調達、資材等の調達及び輸送方法等について、予め調査、検討しておく必要がある。

社会経済に関する主な調査項目は以下である。

- a. 人口及び集落の分布
- b. 地元住民の生活実態及び地域産業
- c. 周辺地域を含めたインフラストラクチャー
- d. 国家及び地域開発計画と将来計画等
- e. 水利用、景観、生態系などの環境問題に関する社会的要請等

(3) 衛星データ及び航空写真の利用

大面積にわたって植生・土地利用を調査するには、衛星データ及び航空写真利用の調査が有効な手段となる。

4. 航空散布樹種の選定

(1) 樹種の選定

航空散布樹種は、設定した目標及び方針に適え、かつ以下の条件に極力適合するものを選定する。

- a. 気象変化に適応する幅が大きい。
- b. 各種の土壌に適応する幅が大きい。
- c. 発芽力、成長力が旺盛である。特に初期成長が早い。
- d. よく繁茂し、根張りが良く、地表被覆効果や土壌緊縛効果が高い。
- e. 土壌改良効果、肥沃化が期待できる。
- f. 病虫害等の諸害に対する抵抗性が高い。
- g. 種子が多量に入手できる。
- h. 比較的長期間の貯蔵でも発芽率が高い。

(2) 種子の確保

航空機造林では、短期間に大量の種子を使用するので、種子散布計画の策定に先だって、以下について樹種別に調査し、種子の確保について検討する必要がある。

①生産実績及び生産計画

②貯蔵量

③輸入実績及び生産国での輸出の可否等

④従来の伝統的造林方法（人工造林）による種子の使用計画

(3) 種子の品質の判定

種子の品質の判定は、主に以下によって行う。

- ① 種子の品質は通常、発芽率と純度によって判定する。発芽率は全種子数に対する発芽種子数の比で示されるが、種子の採取・貯蔵の方法と採取時期及び経過時間などによって異なる。
- ② 種子には、通常ある程度の夾雑物が混入しているので、全体の重さに対する純種子の重さの割合を%で示し純度とする。
- ③ 種子の重さ（単位重量当たりの平均粒数で示すことが多い）も品質の判定に重要であり、平均的な重さを下回る種子はしいなが多く、良質な種子ではない。
- ④ 播種量の算出は、発生期待数と有効率（発芽率×純度）によって行うので、有効率の如何によって種子量を増減し、発生期待数を確保しなければならない。
- ⑤ 保証書等のない種子、採取後の経過日数が長い種子、発芽率が不明な種子は発芽試験を行って発芽率を確認する必要がある。

(4) 発芽率及び粒数

散布量の決定に重要な因子となる単位重量当たりの種子の粒数は、樹種によって異なり、また採取時期及び種子の完熟度等によっても異なる。

また、鳥類及び蟻害等による種子の被害もあるので、これらの被害も予め考慮しておく必要がある。

5. 地表処理

(1) 地表処理の考え方

航空機による造林は低コストでの緑化を目指すことでもある。したがって地表処理は最小限にとどめる必要がある。

(2) 地表処理の種類

航空機造林に適用する地表処理は、火入れによる方法と機械による方法の2種類に大別できる。

地表処理に除草剤を使用する方法もあるが社会及び自然環境への影響等について十分検討する必要がある。

6. 航空機の選定等

(1) 機種を選定

機種を選定は、十分な機能を有し、かつ経済的な機種であるか否かを検討して決定する。
回転翼機（ヘリコプター）の主な特長は以下のとおりである。

— 回転翼機 —

- ①急傾斜地や起伏の多い地形にも適する。
- ②機動性が大きい。
- ③散布速度は高速～低速（ホバリング）まで可変できるので、きめの細かい散布が可能である。
- ④小型固定翼機と比較して、積載量は大きい。
- ⑤離着陸の制約が少なく、散布区域までの到達距離を短くとれる。
- ⑥散布装置によっては、材料の積込み及び散布作業が迅速にできる。
- ⑦散布作業には熟練技術が必要である。
- ⑧固定翼機に比べて価格が高い。

(2) 散布方式

散布方式は、主に散布規模と土壌、傾斜等の立地条件および散布装置、散布材料の種類によって決定するが、作業の効率性、散布の確実性も考慮して決定する。

(3) 散布装置

散布装置は、散布方式、散布材料の種類・形状、積載量、攪拌、吐出量等及び使用航空機との適合性も検討して決定する。

7. 事業計画

(1) 計画の基本的考え方

航空機造林の計画は、特に以下の事項を骨子として策定する必要がある。

- ①事業目的の明確化
- ②対象地域の自然条件の把握
- ③自然条件に耐性があり、初期成長の旺盛な樹種の選定
- ④種子の確保
- ⑤立地条件に応じた地表処理及び各種工作物の施工の検討
- ⑥資機材の選定
- ⑦航空機の機種及び散布装置の選定

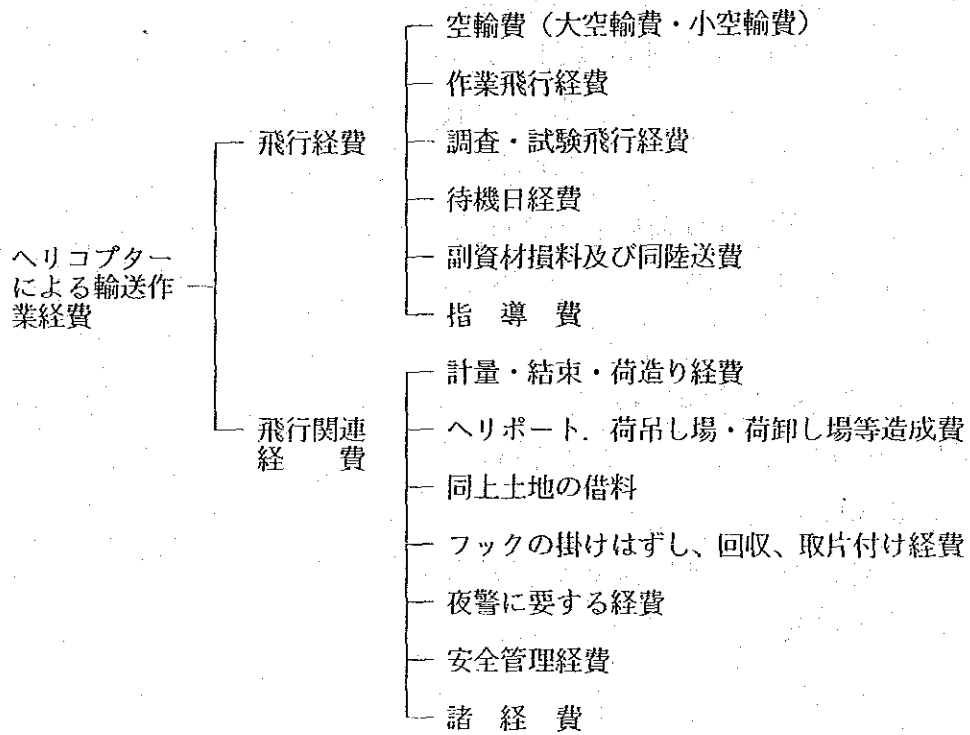
- ⑧社会環境への配慮
- ⑨各種作業のスケジュールの整合
- ⑩現場管理及び維持管理体制の確立

(2) 機械及び諸施設等

機械及び諸施設は散布対象地の立地条件と機械等の必要性の程度及び使用期間等を十分検討して、必要最小限に止めるべきである。

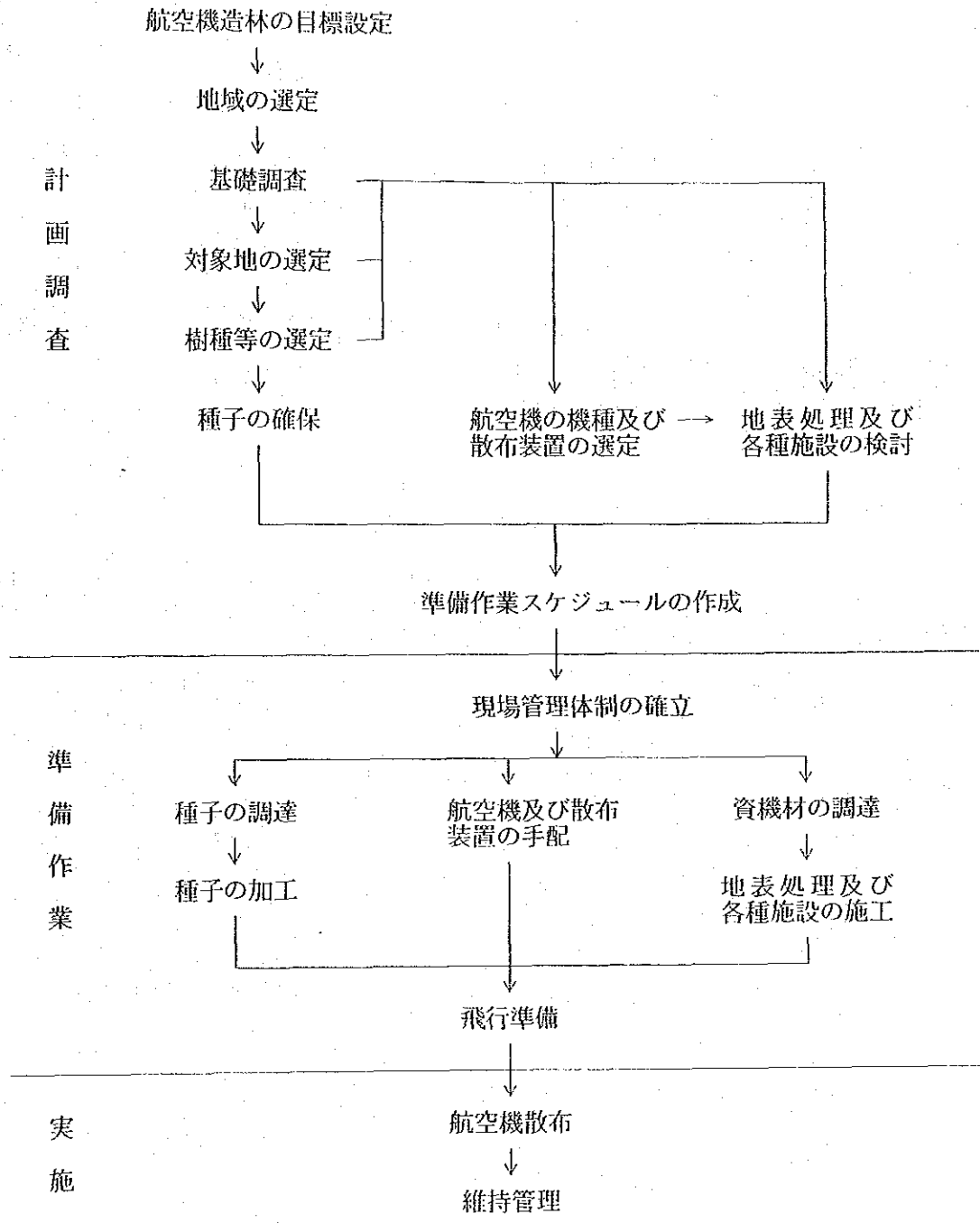
(3) 飛行経費の内容と積算

ヘリコプターによる輸送作業に要する主な経費の構成は以下のとおりである。



(4) 作業スケジュール

作業の手順は以下に示したが、各作業のスケジュールは航空散布実施の適期を基に、さらに現地の事情等を勘案して作成するのが適切である。



航空機造林の作業手順

8. 種子の準備

(1) 種子の調達

種子の調達には自給、国内購入及び輸入による方法がある。

種子の調達が国内購入あるいは輸入による場合は、優良種子を調達するために公的機関等の証明があることが望ましい。

(2) 種子の精選

種子の精選は、種子の加工効率及び発芽率に大きな影響を及ぼす。採種し、脱粒した種子から夾雑物を除去するには、一般に以下の3つの方法で行う。

- ・ふるい選
- ・風選
- ・液体選

(3) 種子量の算出

播種量は次式によって算出する。

$$W = \frac{G}{S \times P \times B}$$

W ; 播種重量 (kg)

G ; 発生期待数 (本/ha)

S ; 平均粒数 (粒/g)

P ; 純度 (%)

B ; 発芽率 (%)

(4) 種子の貯蔵

種子の貯蔵には以下の方法がある。

① 乾燥貯蔵

- a. 常温貯蔵
- b. 低温貯蔵

② 保湿貯蔵

(5) 発芽促進方法

発芽促進処理方法には光照射法、浸漬法、低温湿層処理、高温及び低温湿層処理、温度シフト法、種皮に機械的傷害を与えるなどの処理方法がある。種子の特性及び貯蔵方法によって適切な方法を選択する必要がある。

なお、乾燥貯蔵した種子は休眠状態に入っているため、休眠打破の発芽促進処理を必要

とするものが多い。

(6) 種子のコーティング加工

種子をコーティングする目的は種子の重みづけ、食害忌避、菌害防止、発芽促進、造粒成形、散布種子の確認のため等である。林業用種子への応用はカナダやアメリカでマツ類などで実施しているが種子のコーティング加工は必要に応じて行うものである。コーティングの特徴の一つは、目的に応じて有効な成分を層状に、またコーティング基材の各種の粉体や糊材と混合して添加できることである。

9. 現場管理体制等

(1) 現場管理体制

事業の実施に際しては、現場管理体制及び指揮命令系統を明確にし、作業の安全確保と効率性を図る必要がある。

(2) 安全管理

ヘリコプター輸送に従事する作業員には、ヘリコプター輸送の特性について周知徹底し、作業の安全を図る。

10. 維持管理

散布事業の目的及び必要性の度合いに応じて対処する必要がある。

(1) 保 育

環境造林の目的上、保育は極力実施しないことを原則とする。

散布した種子は生育段階において、発生期待数の不足、成長不良、過密林分の形成等の問題が生ずることがあり、目的達成が見込めない場合には以下の処置を考慮する。

- a. 追 播
- b. 追 肥
- c. 除 草
- d. 除伐、間伐

(2) モニタリング

散布成果の確認及び今後の航空機造林の参考に資するため、調査時期及び調査期間を定めて、散布樹種別の生育、成長状況及び原植生の植生状況等を記録する。

(3) 病虫害対策

病虫害は種子、稚幼樹、成木の生育段階で、それぞれの被害に応じた対策を講ずる。病

虫害の防除法には薬剤防除法、生物的防除法、林業的防除法等があるが、薬剤防除法は環境に及ぼす影響等を十分検討のうえ使用すべきである。

(4) 山火事

造林対象地の周辺は焼畑耕作、放牧のための火入れ等が行われているのが一般的である。

地域住民に対しては、造林地保護の協力を得る必要がある。そのためには造林の目的、森林の効用等の啓蒙活動を図るほか、造林作業への雇用等も考慮する必要がある。

防火帯の作設は山火事の拡大防止効果は大きいですが、時として延焼が起こらないとは限らない。監視塔の設置及び消火器具を整備するなど山火事対策には万全を期す必要がある。

1. 総論

本マニュアルは昭和63年以来、熱帯林の保全と造成及び海外への技術協力の一翼を担うべく、諸外国における航空機による種子散布の実情調査、インドネシア国南カリマンタン州に於ける航空機による種子散布のための基礎調査及び直播き試験結果等に基づいて作成したものである。

本マニュアルは大規模森林回復技術確立の第1段階のものであり、今後も各種試験等及び諸外国の事例等を集積・検討して、より広範に適用し得る内容とすることが望まれる。

1. 航空機造林の目的

熱帯地域においては、人口増加に伴う焼畑移動耕作地の拡大、家畜の過放牧、燃材の収奪及び商業伐採の拡大等により、毎年約 1,700万ha (1990年FAO報告)の森林が消失しており、また林地の荒廃も進んでいる。一方、熱帯地域に存する開発途上国の多くでは、熟練林業従事者の不足、造林実行体制の未整備、苗畑、林道等の造林に必要なインフラストラクチャーの未整備及び財政的問題のため、毎年の造林面積は森林の減少面積の10%にも満たない状況にある。

以上のような状況下、水源かん養機能の回復、砂漠化の防止、地球温暖化の抑制等のための造林『環境造林』を大規模かつ緊急に実施することが不可欠となっているが、この『環境造林』事業を進めるために、造林の早さ、規模、低コストを追求する航空機造林が有望な方法として今後活用が期待される。

2. 航空機造林の特性

航空機造林は短期間で大面積の造林が可能であるが、以下のような利点及び弱点がある。

① 利点

- a. 空中作業が主体であるので、運搬等に関する地理的、地形的制約が少ない。
- b. 材料の運搬及び散布などの作業が連続工程であるため省力的で、かつ短期間で大面積の造林が可能である。
- c. 航空機で種子を散布するので苗畑を必要としない。
- d. 苗木による造林よりも低経費である。

② 弱点

- a. 造林成績が不安定である。

- b. 空中散布であるので、地形によっては均等な散布に難がある。
- c. 散布した種子が雨水によって流亡するおそれがある。また、小動物の食餌となり、損失のおそれがある。
- d. 風、霧などの天候条件によって、作業が制約されることがある。

3. 航空機造林の現状

1930年代にカナダで開発された航空機造林技術は、1950～60年代に至りアメリカ、ニュージーランド、オーストラリア等で荒廃地復旧、伐採跡地造林の手段として発展し、日本及び中国においても治山緑化、造林に活用されるに至った。

また、忌避剤、肥料等のコーティング技術、散布装置の開発・改良、地拵え方法及び混播等の技術開発によって、上記の各国では広域の早期造林手段として実績を重ねてきている。

各国における航空機造林の概要は表 I - 1 に示した。

- ① 各国の航空機造林のねらいを大別すると、伐採跡地の更新と荒廃地の復旧のための2つに区分される。

伐採跡地の更新では、対象面積こそ小規模になりつつあるが、国土面積が広大なオーストラリア、カナダ等では重要な造林技術の一つとなっている。

荒廃地の復旧のための緑化は、中国を除いてはほとんど小面積に行われており、樹木と草とを組み合わせた混播が主体をなしている。

- ② 航空機造林の適地判定について中国では、降水量を判定因子としておおまかな適地区分図を作成している。さらに実施設計段階では植生の生育状況、地形の形状により詳細な判定が行われている。
- ③ 樹種については、カナダ、アメリカ等の温帯地域では針葉樹が用いられ、熱帯地域ではアカシア等の広葉樹が用いられている。
- ④ 種子の加工技術も忌避剤、肥料の混入等、すでにかかなりのレベルまで技術開発がすすめられており、アメリカ、カナダ等では事業化もなされている。
- ⑤ アメリカの航空機造林は1950年代に南部を中心に山火事跡地の荒廃地の復旧や露天掘鉱山跡地を対象に針葉樹を用いて行ったのがはじまりで、その後、低質林を対象に本格的に広まったが、1988年以降、自然保護運動の高まりによる伐採面積の減少、集約的施業への転換等により、航空機造林は減少している。
- ⑥ カナダは1930年代から航空機造林を行っている。1960年代からは伐採跡地の造林や奥

地林を対象に事業化された航空機造林が行われている。

寒冷地域特有の表土の厚い土壌が分布するため大型機械を用いた地拵えを作業工程に組み入れている。散布装置の開発、散布方法の研究も行っており、苗木を空から播く苗木ダートも考案したが、事業化は進んでいない。

- ⑦ オーストラリアは主として、ユーカリの伐採跡地を対象にユーカリで航空機造林を行っている。

近年は自然保護運動の高まりで、伐採面積の減少がみられ、小廻りのきく回転翼機に移行しつつある。

- ⑧ ニュージーランドは過度な牧畜や地形的な要因による高地のエロージョン防止のために航空機を使って治山造林を行っている。

気候条件の厳しい奥地では、樹木種子が霜害を受けることから、マメ科草本との混播により霜害防止をはかり好成績を収めている。

- ⑨ 中国は、1950年代から固定翼機でマツ、広葉樹等の種子を用いて乾燥地から湿潤地まで幅広く実施している。

航空機造林の実施に際しては、植生の繁茂状況による適地区分図の作成、散布時には入山制限もしている。

- ⑩ 熱帯地域では、小面積の試験にとどまっている。

インドネシアでは、アラン・アランの草原において地表処理のちがいによる発芽率、稚樹の生存率、成長について試験を行った。この結果、*Leucaena leucocephala* と *calothyrsus* が有望で、トラクターによる地拵えが最も良い成績を示した。

ナイジェリアでは、発芽した種子が日焼けのため枯死するものが多く地表被覆が必要とされている。

この他ネパールでは試験的に崩壊地の緑化を混播によって行っている。

- ⑪ 日本においては1960年代より荒廃地の治山事業として開始され、主として奥地の地形の急峻なところを対象としている。

散布面積が小規模であるため回転翼機を用いている。また、散布装置の開発、技術基準の作成等が行われている。

表I-1 航空機造林の現状

国名	開始年および実施概況	主要目的	対象樹種	使用機種	種子加工	地植え	散布装置	備考
アメリカ	1950年代開始、1980年までに約100万ha(年造林面積の4~18%、州別では50%に達する州もある)	山火事跡等荒廃地復旧、低質林改良	Douglasfir, Pinus spp.等	固定翼ヘリコプター(南部)	忌避剤(Bndrin等)粘着剤等のコーティング 発芽促進前処理	乾燥地では機械地がき、火入れ		1988以後は治山面積減少のため減少しているが防虫忌避剤コーティング技術、混播技術等が特記される。
カナダ	1930年代開始、1962年より事業実行例。1978年オンタリオ州20,000ha " ケベック州 7,000ha	伐採跡地造林	Pinus spp. Blackspruce等 針葉樹	固定翼ヘリコプター	忌避剤、潤滑剤コーティング(余り使用されない)	火入れ	各種散布装置(固定翼、ヘリコプター用)	各種の土壌について実行田木データ考案 各種地植えに対する種子散布法、散布装置等の開発
ニュージーランド	林業応用は1960年代より	奥地治山造林	Ladgenole pine (マメ科早期肥料混播)	固定翼ヘリコプター	混播および肥料コーティング			降水量の適当な地域で実施 コーティング技術開発 マメ科との混播技術開発
オーストラリア	1960年代より1980年代は毎年8,000ha~12,000ha、近年は約1,000ha	伐採跡地更新	Eucalyptus spp.	ヘリコプター(Bell-206B)	防虫剤 殺虫剤 着色剤 コーティング	火入れ地植え	ユーカリに適した散布装置の改良	種子センサーで種子採取、貯蔵、指導 航空機造林マニキュアル準備、事業体系の整備
インドネシア	1970年代にバラブララン及びラウで実験(38ha及び65ha)したものが成功	7ラン・アラン 草原造林	Sesbania grandiflora Acacia auriculiformis Leucaena 他3種	固定翼(PIRATUS PC-6)	混播	火入れ地植え え、トラクタ 一耕耘、無処理の試験	カナダ製装置の改良	表層停食のほげしいGrumusols 他の乾燥土での実験
中国	1858年の開始、1983年には全国で878,667ha、1988年~1980年間の四川省の散布面積は、全造林地の約18.6%	治山緑化	Pinus spp. Astragalus adsurgens 他	固定翼(伊原14号、運5型等)			散布装置作成(吊下げ式)	乾燥地~湿潤地の各地で実施、 散布地に火入れ禁止 成績は必ずしも明らかではない 広域、大面積、各種土地
日本	1963年開始 対象面積平均100~150ha 他に山火事跡等への実施あり	奥地治山緑化 荒廃地緑化	緑化樹と草本種子混播	多種ヘリコプター	肥料等の混合		各種装置改良	航空機緑化工の設計、施工指針あり、技術体系確立、種子加工等技術開発
ネパール	1988年(日本、中日本航空実施)小面積実験0.67ha、0.06ha)	崩壊地緑化	草本種子とヤマハシヤブ等混播	ヘリコプター(SA315B 運用)	混和剤 粘着剤 養生剤		日本製	

その他下記地域での実施例あり。
 ・太平洋諸島・第二次大戦跡跡荒廃地緑化のためLeucaenaを散布成林、1926年ハワイ島山火事跡に35種を混播15~20種成林。
 ・ナイジェリアとインド：1960年代にナイジェリアで Azadirachta indica 散布実験。1950年インドクジャラートで砂丘固定の実験散布の報告あり。
 ・ソビエト：1982年開始、1954年度実行面積36,100ha、1955年45,200haの報告あり。

Ⅱ. 計 画 調 査

1. 航空機造林対象地域の検討

森林の減少と劣化を食い止め、その回復を図るためには大規模な造林事業を早急に行う必要がある。

しかしながら、開発途上国では以下のような問題がある。

a. 造林の実行体制の未整備

国及び民間（森林組合等）の組織、特に現場組織が整備されていない。

b. 熟練労働者の不足

現場監督者、機械のオペレーター等を含め、熟練労働者が著しく不足している。

c. 事業資金の不足、助成制度の未整備

大規模造林を行うための資金（特に先行投資）の不足とともに、助成制度など資金の円滑な交付等の制度も未整備である。

d. インフラストラクチャーの未整備

造林事業に必要な林道（到達道路を含む）、大規模苗畑、採種園等が未整備であり、特に奥地水源地帯の造林は困難である。

e. その他

森林調査、林木育種、森林消火、試験研究など造林事業を支える組織、活動が不十分である。

一方、従来の伝統的な造林方法は、①大量の種子を必要としない、②植栽後の生存率が高い、③成長量が大い、④同形良質の材が生産できる、⑤保育が容易である等の利点があり、コストは高いが確実な造林方法である。しかし、開発途上地域において早期に大面積の森林を回復するためには、従来の造林方法に加えて航空機を利用した造林は有力な手法となる。

1-1 対象地域の検討

航空機を利用した大規模造林は、特に以下のようなところで利点が大い。

a. 遠隔地

b. 粗放であっても早急な植生の回復が求められているところ

c. アクセスが困難なところ

- d. 人口希薄地
- e. 大量の苗木生産が困難なところ
- f. 必要造林面積が大きいところ

1-2 基礎調査

航空機造林の適切な計画を策定するためには、対象地の気象、地形、土壌、植生、野生動物等の自然的条件ならびに事業実行に関する制約条件、社会経済的条件の基礎的事項について調査を行う必要がある。

調査項目のうち、航空機造林にとって特に重要と考えられる項目は以下である。

(1) 気象

植物が発芽、生育するためには光、温度、水分、養分などの多くの要因が必要である。この要因は殆どの植物に共通するものであるが、要因ごとの必要量は植物の種類によって異なっており、また種類ごとに適応の範囲がある。

これらの要因のうちでも、とりわけ影響力の強いのは気温及び降水量であり、特に導入樹種の選定、種子散布の時期の決定等には欠かせない条件である。

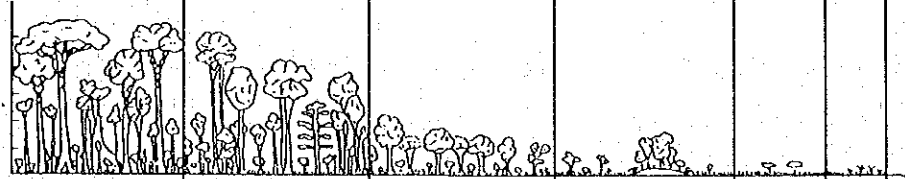
また、航空機造林では、日最大雨量が散布種子の定着の良否の判断の資料となる。

気象条件と植物群落との関係については、これまで多くの研究者等が植物帯、気候帯など、主として自然状態の分布を基に類型区分をしている。植生の導入を図る場合には、これらの類型区分も参考となる（図Ⅱ-1）。

気象の主な調査項目は以下である。

- a. 気温 …… 年平均気温、月平均気温
- b. 降水量 …… 年降水量、月別降水量、日最大雨量

注) 気象データは10年間位の統計が望ましい。

雨期(乾期)	10-12(0-2)	9-10(2-3)	7-9(3-5)	3½-6(6-8½)	2-3½ (8½-10)	1 (11)	0 (12)
年平均降水量mm	>2000mm	>1500mm	>1000mm	750-1000mm	>400mm	以下 400mm	
降雨 パターン	mm 500 400 300 200 100 0 D アクシム 2103mm	mm 300 200 100 0 D タホ 1658mm	mm 300 200 100 0 D タメール 1081mm	mm 200 100 0 D カノ 846mm	400mm	200mm	
有用植物	ゴム、熱帯木材	オイルパーム、 カカオ、コーヒー	ヤムイモ	綿花、大麦、 ピーナッツ	ピー ナッツ		
森林断面							
植生タイプ	熱帯多雨林	熱帯季節林	湿性サバンナ	乾性サバンナ	棘性サ バンナ	半 砂漠	砂 漠

図II-1 熱帯地域の気候区分と植生型の関係 (Jordan, C. F., 1985, :Nutrient
Cycling in Tropical Forest Ecosystems)

(2) 地形

地形は散布飛行、離発着地の選定、機械作業の難易および種子の定着等の判断資料となる。

開発途上国においては、往々にして地形図の入手が困難なところが多い。その場合は補助手段として航空写真の利用が有効である。

地形の主な調査項目は以下である。

- a. 傾斜
- b. 標高

注) ヘリコプターを使った傾斜地での航空散布では、許容される下降散布は15度以下に限られる。15度以上の場合は斜面および斜め方向の上昇散布を行う。

(3) 地質

地質は地形、荒廃の原因、荒廃形態等に関りを有することが多いので航空緑化工のほか、山腹基礎工、緑化基礎工等の工種の選定や配置などの計画資料となる。

また基岩の種類を調査することによって、土壌の性質等が推定できる。

地質の主な調査項目は以下である。

a. 地質分類

b. 基岩の種類と破碎、風化の状況

(4) 土 壤

地質調査は主として基礎工の計画に必要な資料であるが、土壌は樹種の選定、生育の推定及び施肥の要、不要等の資料となる。

航空機造林の場合は、造林上問題となる土壌の存在が確認できれば十分であるので、代表的な地形及び植生の箇所を選定して調査する。

o 土 性

土性分類は、いくつかの分類方法があるが、この調査は主として植物の適応性の判定等の資料とするものであるので、砂土、砂質土、粘性土、礫質土、軟岩、硬岩に区分する。砂質土は粘性土に比して乾燥し易く、また礫質土は航空種子散布を行ったときに、礫が種子を乾燥から防ぐ利点もあり比較的に発芽成績が良いといわれている。

なお、対象地の大部分が硬岩に属する場合は、航空機造林の対象地にするのは適当でない。

o 土壌硬度

熱帯土壌は焼畑、放牧のための火入れの繰り返し等により、硬度が増し、極端に物理性が悪くなっているのが多くみられる。

土壌の硬さは植物の生育、根系の伸長、支持力などに関っている。硬度の測定には土壌硬度計（山中式等）を用いる。

山中式硬度計はバネの反発力を利用したもので、硬度は支持力目盛と指数目盛で示されるが、植生の可否等の判定には指数目盛を用いる。硬度指数と植物の生育、根系の伸長および支持力の関係は以下のとおりである。

硬度指数	植 物 の 生 育 状 況 等
18mm以下	植物の生育は容易であるが、土が軟かすぎて傾斜地では崩れる危険がある。
18～23mm	植物の根系生長に最も適している。
23～27mm	植物の生育は可能であるが、生育状況はあまり良くない。
27～30mm	土が硬く、植物の生育は困難である。しかし土壌の間隙が大きければ、根系の侵入は可能である。
30mm以上	根系の侵入は不可能である。

o. 土壤酸度

熱帯では、焼畑等により酸性の強い土壤が多くみられる。土壤改良剤を使用して、土壤改良を図ることも考えられるが、航空機造林の場合は、まず酸性土壤に耐性のある植物（樹種）を選定する必要がある。

植物は同じ酸度でも栄養分に富んだ土壤では、酸性に耐えるので、若干酸性が強い場合でも施肥により栄養分を補給してやればよい。

土壤酸度が特に強い場合（概ねpH 4.0以下）は、発芽不良や幼苗の立枯れをおこすので、石灰を施用して中和することが必要である。しかし石灰は土壤との混和が困難であり、また肥料を必要とする場合は同時に施用すると肥料効果が減退し、種子に付着すると葉害をおこすおそれもあるので、施用は最小限に止める必要がある。

土壤酸度（pH）はpHメーターあるいはpH紙によって判定する。pH値が3以下を強酸性、4～6を弱酸性、7を中性、8～10を弱アルカリ性、11以上を強アルカリ性に区分する。

土壤の主な調査項目は以下である。

- a. 土壤型別分布
- b. 土 性
- c. 土壤硬度
- d. 土壤酸度（pH）

(5) 植 生

植生調査では、特に熱帯地域のサバンナ林、草原に多い繁茂の著しいアラン・アラン（*Imperata cylindrica*）のような草木の生育状況を調査する。また、造林対象地の原植生について、周囲の森林から原植生の種類、出現状況、生育状況等、特に優占樹種の天然更新の状況を調査することが必要である。

これらの調査は、適正な造林樹種、品種の検索及び選定等のための資料となる。

(6) 社会経済

航空機造林は地理的条件が良くない遠隔地、アクセスが困難である地域、粗放であっても早急な植生（森林）回復が必要とされる地域、急峻な地形などで人工植栽による造林が困難な地域の造林手段として有効である。

しかし、このような地域は一般に人口が希薄であり、またインフラストラクチャーも未整備である。さらに地域の社会経済に関する資料も未整備である。

このような地域での航空機造林計画の策定に当たっては、極力関係資料の収集を図るほか、聴き取り調査及び航空写真を利用して、現地での労務の調達、資材等の調達及び輸送

方法等について、予め調査、検討しておく必要がある。

社会経済に関する主な調査項目は以下である。

- a. 人口及び集落の分布
- b. 地元住民の生活実態及び地域産業
- c. 周辺地域を含めたインフラストラクチャー
- d. 国家及び地域開発計画と将来計画等
- e. 水利用、景観、生態系などの環境問題に関する社会的要請等

1-3 衛星データによる植生、土地利用調査

大面積にわたって植生・土地利用を調査するには衛星データ及び航空写真利用の調査が有効な手段となる。

(1) 衛星データの利用

現在、利用可能な人工衛星の主なものはLANDSAT、SPOT、MOSの3種である。その内容は表Ⅱ-1に示した。

また、人工衛星画像データの特性は以下のとおりである。

- ①広域を同時に、かつ繰り返し観測により最新の情報と時系列的な変化の情報が得られる。
- ②データの数値的処理により客観的かつ物理的なデータ判別と統計値が機械的、高能率で整理が可能である。
- ③画像処理システムと結びつき、自在な画像の表現が迅速に可能である。

画像データの利用には対象面積の大小、利用目的の精粗により合成画像の目視判読から数値処理による画素ごとの判別まで、それぞれの段階がある。100万ha以上の大面積を対象とする場合は、効率的なのは合成画像の目視判読である。この場合使用し得る画像の縮尺は衛星のセンサがもつ画素（最小観測面積）によって定まり、LANDSATのMSS、MOS-1で20万分の1、LANDSATのTMで10万分の1、SPOTのPXで5万分の1が目安である。いずれも航空写真よりは小縮尺である。

衛星画像データの判別はデータと適用技術の精粗によって表Ⅱ-2のようにレベル分けを行っているが、LANDSAT画像データ利用の場合はレベル1～2の段階までとレベル3の一部が判別できる段階にある。

なお、ランドサット画像の判読区分は表Ⅱ-3に示した。

表 II - 1 地球観測衛星と搭載センサ

衛星名	軌道要素	搭載センサ	
		主搭載センサ名	センサの主要観測諸元
LANDSAT-4 (1982) -5 (1984)	太陽同期軌道 高度：約 705km 傾斜角：約98° 回帰日数：約 2 日 観測周期：16日	TM Thematic Mapper	可視近赤外 4 バンド、中近赤外 2 バンド、熱赤外 1 バンド 分解能：30m (可視近、中近赤外)、120m (熱赤外) 観測幅：185km
		MSS Multispectral Scanner System	可視近赤外 4 バンド 分解能：80m 観測幅：185km
SPOT-1 (1986) " -2 (1987) " -3 (1989)	太陽同期軌道 高度：約 832km 傾斜角：約99° 回帰日数：約 5 日 観測周期：26日	HRV High Resolution Visible Range Instruments	可視近赤外 4 バンド (内 1 バンドは P、3 バンドは P X) 分解能：20m (モノクロは 10m) 観測幅：60km × 2 台 オフナディア視：+26° ~ -26°
MDS-1 (1987) " -16 (1989)	太陽同期軌道 高度：約 909km 傾斜角：約99° 回帰日数：約 17 日 観測周期：18日	MESSR Multi-spectral Electric Self-Scanning Radiometer	可視近赤外 4 バンド 分解能：50m 観測幅：100km × 2
		VTIR Visible and Thermal Infrared Radiometer	可視 1 バンド、熱赤外 3 バンド 分解能：0.9km (可視)、2.7km (熱赤外) 観測幅：1,500km
		MSR Microwave Scanning Radiometer	周波数：23.8 GHz、31.4 GHz 分解能：31km(23.8 GHz)、22km(31.4 GHz) 観測幅：317km

表Ⅱ-2 リモートセンシングデータで地表を判別するレベル

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	(備 考)
植物で覆 われてい る又は植 物が多い	森 林	針葉樹林 広葉樹林 マツ林 その他	森林型区分 疎密度区分 高木、低木区分 混交度など	人工林、天然林、 落葉、常緑の別主 要樹種群（竹、ハ イマツなどを含 む）。
	草 地	自然草地 人工草地 荒 地 その他	高草、芝 ヤブ 密生度区分 その他	野草地、牧草地 ゴルフ場 かん木地など 湿性草地など
	農 用 地	穀類 蔬菜、根菜 果樹園 休耕地、その他	成熟度区分 穀物種区分 土壌型区分 湿度区分、その他	水稲 麦、陸稲、馬鈴薯 蔬菜、桑、茶、 果樹園などの区分
植物がな い又は少 ない	裸 地	造成地 自然裸地 砂 漠 岩石地 火山噴出物など	採石、埋立、枯草、 崩壊、露岩、溶岩、 砂浜、礫浜、河岸、 グランドなど	地質型区分 土質型区分 成因別区分
	都 市 集 落	居住地 工 場 特殊施設 道 路 集落、その他	高密度市街地 低層市街地 大規模住宅 交通、流通施設 港湾施設など	住宅地、商用地、 運動場、温室群、 貯油タンク、鉄 道、幹線道路など
水 域	河 川 湖 沼 海 地 湿 地	すんだ水、濁っ た水、貯水池、 水路、クロロフ イル発生	混濁物種別 混濁度 クロロフィル量	
雪 氷		積雪領域、氷被 覆	雪、氷質など	
雪 影				

注) 多時期のデータ重合が精度を高める

表II-3 ランドサット画像の判読区分

判読項目	色	きめ	出現パターン	位置	その他
森林	鮮やかな赤	なめらかで均一	——	起伏のある山岳地に分布している	——
アラン・アラン	クリーム色 ～ピンク色	群落の疎密の差によりモザイク状に見える	——	未開墾地・耕作跡地に広く分布	成育段階に応じて色調が異なる
プランテーション	くすんだ赤～鮮やかな赤	細かな凹凸感がある	直線等で明瞭に区画されることが多い	——	同上
水田	クリーム色 ～ピンク色	なめらかで均一	同上	灌漑の得られる河川沿いの低地に分布	乾田は白っぽく湿田は赤味がある
湿地	緑がかった赤	湿地林がある場合細かな凹凸感がある	——	低地に分布	——
水面	藍色	なめらかで均一	——	河川・湖	——
集落	灰青色	——	矩形あるいは小さな塊状	主要道路沿いに点在	——

(2) 衛星データの入手

LANDSATデータは周期的にデータを得やすいことから、きわめて利用性が高い。

LANDSATデータは調査対象地域をカバーしている地上の受信センターで管理しており、データの入手及び検索は以下による。

- ① LANDSATカバーレッジ・マップで調査範囲を含むLANDSATの軌道を検索する。LANDSAT衛星の規制は南北方向がPATH、東西方向がROWで示されており、カバーレッジ・マップの○印が軌道の中心を示す。LANDSATデータの1シーンは180km×180kmであり、隣接シーンとは20～30kmの範囲でラップしている。
- ② 次に雲量リストから観測時期、雲量、画質を検討する。雲量が1シーン内に多いとしても、観測時期によっては調査地域に雲がない場合がある。その場合はクイックルック写真で雲の位置を確認することも可能である。
- ③ シーンが決まったらリモートセンシングセンター（インドネシアではLAPAN - The National Indonesian Space Agency, Institute for Aeronautics and Space）を通じてデータを入手する。
- ④ データの種類はアナログデータ（写真類）とデジタルデータ（磁気テープ）があり、

用途に応じてデータを選択する。

1-4 航空写真による植生、土地利用調査

(1) 航空写真の利用

航空写真は地形図の作成に利用するほか、写真判読を行って地物を特定するなど、諸計画の立案のための資料となる。

写真判読作業は、一般的には先ず地域の概況を把握するために広域判読を行い、次いで実施計画等に必要な資料をうるために詳細判読を行う。

a. 広域判読

広域判読は植生及び土地利用等の地域の概況を把握するための判読であるので表Ⅱ-4に示した大、中区分に含まれる項目ぐらまでの判読を行う。

判読結果は地形図に移写しておく、利用するのに便利である。

b. 詳細判読

詳細判読は実施計画の立案等に必要の詳細な情報をうるための判読であるので表Ⅱ-4の小区分に含まれる項目までの判読を行う。

判読結果は地形図に移写しておく、利用するのに便利である。

なお、判読結果は、正確を期すために現地にて照合することが望ましい。

表Ⅱ-4 植生・土地利用判読項目(例)

大 区 分	中 区 分	小 区 分
a. 森 林	1. 天 然 林	樹高階別、疎密度階別
	2. 二 次 林	” ”
	3. 低 木 林	
	4. 灌 木 林	
	5. 更 新 地	人工林、プランテーション
	6. 皆 伐 跡	
	7. マングローブ林	
b. 農 用 地	8. 耕 作 地	畑、水田、果樹林等
	9. 耕 作 跡	
c. 草 地	10. 自然草地	
	11. 放 牧 地	自然草地、人工草地
d. 裸地(荒廃地)	12. 砂 礫 地	河床、砂州、露岩地
	13. 崩 壊 地	
e. 湿 地	14. 湿地草原	
	15. 湿 地 林	
f. 河川・湖沼		
g. 集落・施設		
h. 道 路		
i. そ の 他		

(2) 航空写真の入手

開発途上国での航空写真の入手は、一般に軍事上の理由から困難な場合がある。また、国外への持出しを禁止あるいは条件付き許可を行うことがある。

航空写真の入手に当たっては、調査の窓口となる関係省庁に入手手続きを依頼するのがベターである。

なお、撮影年の古いものが多いので、新規撮影が必要となることもある。

2. 航空散布樹種の選定

2-1 樹種の選定

航空散布樹種は、設定した目標及び方針に適え、かつ以下の条件に極力適合するものを選定する。

- a. 気象変化に適応する幅が大きい。
- b. 各種の土壤に適応する幅が大きい。
- c. 発芽力、成長力が旺盛である。特に初期成長が早い。
- d. よく繁茂し、根張りが良く、地表被覆効果や土壤緊縛効果が高い。
- e. 土壤改良効果、肥沃化が期待できる。
- f. 病虫害等の諸害に対する抵抗性が高い。
- g. 種子が多量に入手できる。
- h. 比較的長期間の貯蔵でも発芽率が高い。

熱帯地域における主な樹種の成長特性は以下のとおりである。

a. 高温耐性樹種

カリビアマツ(*Pinus caribaea*)などの熱帯産マツ類、ギンネム(*Leucaena leucocephala*)、アカシア類(*Acacia mangium*、*Acacia auriculiformis*)、アルビジア(*Albizia falcataria*)、パルキア(*Parkia* sp.)などのマメ科(LEGUMINOSAE)の樹種、モクマオウ(*Casuarina* spp.)、チーク(*Tectona grandis* — 但しこの樹種は乾期が必要)などは、高温条件(35℃以上)でも成長が低下しない。

b. 乾燥耐性樹種

高温条件下の乾燥に耐性がある樹種として、カリビアマツ(*P. caribaea*)、アカシア類(*A. mangium*、*A. auriculiformis*)、プロソピス(*Prosopis* spp.)、モクマオウ(*Casuarina* spp.)、ユーカリ(*Eucalyptus* spp.)の一部などがある。

c. 酸性耐性樹種

熱帯地域では瘠悪地にパイライト(Pyrite)を含む土壤が多く、パイライト由来の硫酸酸性土壤が問題になっている。マンガウム(*A. mangium*)、アガチス(*Agathis* spp.)などが硫酸酸性の土壤にも生育する。

d. 更新力の強い樹種

大規模造林は、当面の目標として荒廃地に林木を導入し、環境保全の向上を図ることである。したがって定着した椎樹が急速に成長し、早期に成林することが求められる。

航空機散布で森林を造成する場合は、不均一な疎林が形成される可能性もある。このような場合は閉鎖林に誘導する方法として、天然更新による自然的拡大方法がある。このためには散布する樹種として以下のような特性がある樹種が望ましい。

- ① 2～3年位で成熟して種子を生産し、この種子による天然更新ができる。
- ② 根系あるいは地下茎によって増殖する。
- ③ 萌芽更新をする。

アカシア類(*A. mangium*、*A. auriculiformis*、*Acacia* spp.)、ギンネム(*Leucaena leucocephala*)などは植栽後、数年で種子を生産し、しかも萌芽力も強い。

2-2 種子の確保

航空機造林では、短期間に大量の種子を使用(Ⅲ、1-3 種子量の算出を参照)するので、種子散布計画の策定に先だて、以下について樹種別に調査し、種子の確保について検討する必要がある。

- ① 生産実績及び生産計画
- ② 貯蔵量
- ③ 輸入実績及び生産国での輸出の可否等
- ④ 従来の伝統的造林方法(人工造林)による種子の使用計画

2-3 種子の生理的特性

樹種によっては、形態的及び生理的に以下のような特性がある。これらのことも考慮して、樹種の選定を行う必要がある。

- ① 裸子植物、針葉樹類は胚の発達に関係なく種子が形成されるためしいなが多く、見かけだけでは種子の品質を見分けることが難しい。
- ② 双子葉植物では、発芽過程において胚の発達に胚乳が必要な有胚植物と子葉が発達して養分の貯蔵器官としての役割をもち、子葉が展開し緑化して、光合成機能をもつ無胚乳植物がある。後者は発芽や生育条件の悪い場所でも適応できる。無胚乳の主な樹種は以下である。

○ マメ科(LEGUMINOSAE)ではアカシア(*Acacia* spp.)、プロソピス(*Prosopis* spp.)、ニセアカシア(*Robinia pseudoacacia*)、ギンネム(*Leucaena leucocephala*)、アルビジア(*Albizia falcataria*)、タイヘイヨウテツボク(*Intsia bijuga*)など。

○ その他の樹種では、ハンノキ(*Alnus* spp.)、ユーカリ(*Eucalyptus* spp.)、カンバ

(Betula spp.)、ヤナギ(Salix spp.)、ポプラ(Populus spp.)、ギョリュウ(Tamarix juniperina)、ニレ(Ulmus spp.)、モクマオウ(Casuarina spp.)など。

- ③ 子葉に養分を貯蔵する種子の中には、子葉が貯蔵器官としての役割りのみをもち、光合成を行わないものがある。このような種子では子葉が展開せず、土中に埋蔵されたままの状態になって、上胚軸だけが伸長する。子葉が展開しないものをhypogealといい、この特性をもつ種子としては、トチノキ(Aesculus sp.)、シイ(Castanopsis spp. Paspalia spp.)、コナラ(Quercus spp.)、ハシバミ(Corylus spp.)、フタバガキ科(DEPTEROCARPACEAE)の一部の種などがある。これらの種子は乾燥すると枯死する。

- ④ 種子によっては、乾燥重量当たり10%以下まで含水率を低下させ、生理的に不活性状態になるまで乾燥することが可能である。

発芽過程において吸水を始めると生理活性が回復する。このような種子は貯蔵性が高く、しかも常温で貯蔵できるため、種子として取り扱いが容易である。このような特性をもつ種子には以下のものがある。

○針葉樹ではマツ類(Pinus spp.)、トウヒ(Picea spp.)、モミ(Abies spp.)など。

○マメ科 (LEGUMINOSAE) ではアカシア (Acacia spp.)、ギンネム (Leucaena leucocephala)、プロソピス (Prosopis spp.)、アルビジア (Albizia falcataria)、タイヘイヨウテツボク (Intsia bijuga)、シタン (Dalbergia cochinchinensis)など。

○その他の樹種ではユーカリ (Eucalyptus spp.)、ポプラ (Populus spp.)、ハンノキ (Alnus spp.)、カンバ (Betula spp.)、ギョリュウ (Tamarix Juniperina)、ニレ (Ulmus spp.)など。

- ⑤ コナラ(Quercus spp.)、トチノキ(Aesculus sp.)、カンキツ (Citrus spp.)、フタバガキ科(DEPTEROCARPACEAE)などは、種子の成熟過程において含水率の低下が少なく、種子の成熟後も高い含水率を示す。これらの種子は成熟した後も生理活性が高く、貯蔵中に呼吸や蒸散による水分の放出を起こしている。放出した水分を再吸収して発芽することがある。

含水率の高い種子には低温に耐えるものと15°C以下の温度では、死滅するものがある。含水率の高いフタバガキ科(DEPTEROCARPACEAE)の種子の多くは低温では生存し得ない。したがって含水率の高い種子の貯蔵は、①0°C以上~15°C以下の低温でも生存するもの、②15°C以上の温度でなければ生存し得ないものに分けて取り扱う必要がある。

2-4 種子の品質の判定

種子の品質の判定は、主に以下によって行う。

- ① 種子の品質は通常、発芽率と純度によって判定する。発芽率は全種子数に対する発芽種子数の比で示されるが、種子の採取・貯蔵の方法と採取時期及び経過時間などによって異なる。
- ② 種子には、通常ある程度の夾雑物が混入しているため、全体の重さに対する純種子の重さの割合を%で示し純度とする。
- ③ 種子の重さ（単位重量当たりの平均粒数で示すことが多い）も品質の判定に重要であり、平均的な重さを下回る種子は多いが多く、良質な種子ではない。
- ④ 播種量の算出は、発生期待数と有効率（発芽率×純度）によって行うので、有効率の如何によって種子量を増減し、発生期待数を確保しなければならない。
- ⑤ 保証書等のない種子、採取後の経過日数が長い種子、発芽率が不明な種子は発芽試験を行って発芽率を確認する必要がある。

2-5 発芽率及び粒数

散布量の決定に重要な因子となる単位重量当たりの種子の粒数は、樹種によって異なり、また採取時期及び種子の完熟度等によっても異なる。

表II-5は主要樹種の単位重量当たりの粒数及び平均発芽率を示したものである。

インドネシア国南カリマンタン州で行った*Acacia mangium*、*Acacia auriculiformis*の発芽率は、プランター使用の試験で40~71%であったのが地上直播き試験では10%前後の結果となり、両者に大きな差がみられた。したがって散布量の決定に際しては既応の資料で必要とする種子数量を把握する他、地上直播き試験による発芽率も考慮に入れる必要がある。

なお、地上直播き試験を行う場合は、鳥類及び蟻害等による種子の被害もあるので、これらの被害も予め考慮しておく必要がある。

表 II - 5 主要樹種の種子粒数と発芽促進方法

樹 種	粒 数 / kg	処 理 方 法	平均発芽率(%)
Acacia albida	20,400~40,000	濃硫酸(2)	45 ~ 75
A. auriculiformis	8,200/~89,200	濃硫酸(2) : 熱・沸湯(1)	40 ~ 80
A. mangium	40,000~70,000	沸湯(2) : 熱湯 (80°C:15分)	80
A. nilotica	1,700/~11,000	濃硫酸(1) : 沸湯(1)	60 ~ 90
A. senegal	7,900/~33,000	濃硫酸(2)	70 ~ 100
A. tortilis	12,000~16,100	濃硫酸(2)	45 ~ 80
Albizia falcataria	40,900~50,000	熱湯・沸湯(1)	60 ~ 90
A. lebbek	6,000~16,000	濃硫酸(1,2) : 沸湯(1)	50 ~ 85
Anacardium occidentale	175~300	水浸	60 ~ 90
Anogeissus leiocarpus	112,000~120,000	濃硫酸(?)	30 ~ 70
Anthocephalus chinensis	1,000,000~2,600,000	不要	
Araucaria cunninghamii	1,900~3,400	不要	30 ~ 70
A. hunsteinii	1,700~1,800	不要	
(はねを取った種子)	2,000~2,500		
Azadirachta indica	2,800/~6,300	水浸 12時間	35 ~ 65
Calliandra calothyrsus	19,500	熱湯(?)	
Cassia siamea	9,900/~45,000	濃硫酸(1) : 沸湯(1)	50 ~ 85
C. spectabilis	31,000~35,000	熱湯(1)	15 ~ 50
Casuarina equisetifolia	183,000/~1,000,000	水浸 12時間	30 ~ 70
Cedrela odorata	30,000~227,200	不要	50 ~ 85
Cupressus lusitanica	7,200~250,000	不要	25 ~ 60
Dalbergia sissoo	12,000~52,800	濃硫酸(3)	70 ~ 100
Eucalyptus camaldulensis	90,000~400,000	水浸 12時間	55 ~ 90
E. citriodora	108,000~1,240,000	水浸 12時間	60 ~ 90
E. cloeziana	141,000~3,605,000	水浸 12時間	45 ~ 80
E. deglupta	1,400,000~4,210,000	不要	35 ~ 65
E. globulus	70,000~350,000	不要	60 ~ 90
E. grandis	632,000(200,000~3,000,000)	不要	35 ~ 65
E. microtheca	200,000~450,000	不要	70 ~ 100
E. paniculata	112,000~336,000(~460,000)	不要	30 ~ 70
E. robusta	415,000(140,000~1,000,000)	不要	45 ~ 80
E. saligna	25,000~2,000,000	水浸 12時間	55 ~ 90
E. tereticornis	90,000~4,000,000	水浸 12時間	55 ~ 80
E. torelliana	263,000~800,000	不要	30 ~ 70
E. urophylla	210,000~456,000	不要	
Gmelina arborea	400~3,000	濃硫酸(3)	40 ~ 80
Grevillea robusta	51,000~150,000	水浸 24時間	30 ~ 90
Khaya senegalensis	25,00/3,200~18,000	水浸 12時間	70 ~ 100
Leucaena leucocephala	13,000~34,000	熱湯(1)	50 ~ 85
Melia azedarach	475~2,800	不要	55 ~ 85
Octomeles sumatrana	4,000,000	不要	
Parkia biglobosa	2,800~5,000	濃硫酸(1)	75
Pinus caribaea var. hondurensis	46,000/~200,000	水浸 15時間	70 ~ 100
P. merkusii	28,000~59,000	不要	60 ~ 70

樹 種	粒 数 / kg	処 理 方 法	平均発芽率(%)
<i>P. oocarpa</i>	38,000~78,000	水浸 15時間	70 ~ 100
<i>P. patula</i>	88,000~140,000	不要:冷処理(60日)	
<i>P. radiata</i>	28,000~37,540	冷処理(1~3週間)	80
<i>Prosopis africana</i>	2,900 / 6,500	濃硫酸 30分	42
<i>P. juliflora</i>	8,000~30,000	傷つけ:濃硫酸(?)	80 ~ 90
<i>Pterocarpus indicus</i>	1,100 / 2,100	熱湯(1):濃硫酸:30分	30 ~ 70
<i>Sesbania grandiflora</i>	17,000~20,000	不要	85 ~ 90
<i>S. sesban</i>		不要	
<i>Swietenia macrophylla</i>	2,000~2,500	不要	70
<i>Tamarindus indica</i>	700~2,600	沸湯(2):濃硫酸:30分	30 ~ 70
<i>Tectona grandis</i>	1,250~3,100	吸水・陽光乾燥の繰り返し水浸 24時間	60 ~ 80
<i>Terminalia catappa</i>	150~860		
<i>T. ivorensis</i>	5,500~6,600	水浸・乾燥の繰り返し	
<i>Triplochiton scleroxylon</i>	3,000	不要	
<i>Zizyphus mauritiana</i>	650~3,500		

- 注) 1. この表はVON CARLOWITZ (1986) を中心に調製した。
2. kg当たりの種子の粒数はいろいろな文献でかなり異なっている。従ってこの表の数字もおよその範囲を示すものである。
3. ユーカリ類についてはFAO (1972) の数字をもとに整理した。ユーカリの種子にはchaff と呼ばれる不稔の胚珠が多量に含まれており、精選の程度によって単位重量当たりの種子数はかなり変動する。
4. 処理方法の説明
 濃硫酸(1): 5~15分; 同(2):20~30分; 同(3):45~60分
 (?):時間はその都度決める; 処理後は十分に水洗し一晚水浸。
 熱湯: 熱湯(50°C?)に12時間浸漬する; (?) 時間はその都度決める。
 沸湯(1): 沸騰水に漬けて、そのまま冷却する。
 沸湯(2): 沸騰水に3~5分間漬ける。
 吸水・陽光乾燥の繰り返し: 2、3日おきに繰り返す方法と、1日ごとに繰り返す方法とある。
 “不要”とされている樹種でも一晚水に浸してから播くほうがよい。
5. 発芽率も種子の条件によってまちまちであり、上記の数字はおよその範囲を示すものである。

3. 航空機造林の適地

3-1 適地の考え方

航空機造林の適地には、航空機利用からみた適地がある。すなわち、

- a. 遠隔地
- b. 粗放であっても早急に植生の回復が求められるところ
- c. アクセスが困難なところ
- d. 人口希薄地
- e. 大量の苗木生産が困難なところ
- f. 必要造林面積が大きいところ

などである。

しかし、造林対象樹種のすべてが、以上のような土地の自然条件に適應して発芽、生育するとはかぎらない。

樹種には、それぞれ特有の適應性があるので、自然条件に適應性がマッチしたところを適地としなければならない。

3-2 自然条件からみた適地

適地判定に必要な自然条件調査の主な項目は以下である。

- a. 気象（温度、降雨量）
- b. 地形（標高、傾斜、方位）
- c. 地質（母材）
- d. 土壌（土性、堅密度、乾湿）
- e. 植生（植生型、植生被覆度、植生遷移等）
- f. 土地利用形態

以上の情報は気象統計（気候図）、土壌図、地形図、植生図あるいは航空写真、現地調査等によって調査する。

適地（適地区分図）は、これらの調査結果を総合的に評価して決定する必要がある。

○ 気象

種子が発芽し、生育するためには適度の降水量と温度が必要である。熱帯地域においては温度条件よりも降水量の多寡が大きな要因となる。降水量は月間 300mm以上は種子の流亡のおそれがあるので月間 100mm～200mmが適地（適期）の目安となる。なお、熱帯地域では降雨のほか乾燥期間の長さが発芽、生育に大きな要因となる。

○ アラン・アラン

アラン・アランの疎・密度は適地判定の重要な因子である。地上直播き試験結果からみると、アラン・アランの生重量 800～1,000 g/m²が散布された樹種にとって発芽、生育のための限界と思われる。

○ 地形

種子の定着には急峻地形は不適であり、緩斜地が広がる丘陵地等が適地である。傾斜は20度未満を適地の目安とし、20度～40度では何らかの施工を計画し、40度以上は治山事業的緑化施工を計画することが望ましい。

○ 土壌

種子の発芽、生育上問題となる土壌は不適地となるが、不適地としての程度を十分検討する必要がある。

熱帯地域では酸性土壌が広く分布するが、*A. mangium* のように酸性土壌に強い樹種がある。

- ・土性区分は一般に砂土、砂質土、粘性土、礫質土、軟岩、硬岩に区分するが、礫は種子を乾燥から防ぐ利点があり、比較的発芽成績がよいといわれている。硬岩は不適地である。
- ・土壌硬度は植生の生育、根系の伸長、支持力などに関係し、硬度指数18cm～23cmが植物の根系、生長に最適といわれ、30mm以下では根系の侵入は不可能である。

4. 地表処理

4-1 地表処理の考え方

地表処理の目的は散布種子の着床、発芽及び生育に良好な環境条件を整えることにある。以下は林床の状態と地表処理の必要性について述べたが、航空機による造林は低コストでの緑化を目指すことでもある。したがって地表処理は最小限にとどめる必要がある。造林対象地の林床は、おおよそ以下に分類できる。

- ①土壌の有機物層(A₀層—落葉層、腐葉層、腐植層より成る)がほとんどなく、ミネラルソイル(A層)が露出している林床 …… 荒廃地等
- ②末木枝条は多くあるが、有機物層の薄い林床 …… 伐採跡地
- ③末木枝条が多くあり、有機物層も厚い林床 …… 伐採跡地
- ④地表草木はあるが、有機物層が薄い林床 …… サバンナ焼畑跡地で、火入れ等のくり返しにより劣悪化した林地

⑤地表草木があり、有機物層も厚い林床 …… ④ほど劣化していない焼畑跡地等
航空機造林の対象地を選定する場合、優良木生産を目的とした天然林等の伐採跡地は、天然更新又は苗木による集約造林を行うと考えられるので、枝条の多い林地は例外といえる。また、熱帯地域は有機物の分解が早いため、焼畑の放棄地等是有機物層が薄いのが一般的であるので、熱帯地域での航空機造林の対象地は、上記の①と④が多いと考えられる。

以下、上記の林床と地表処理の関係について述べる。

- a. ①の林床は崩壊地、火山噴出地等の荒廃地であり、地表処理の必要もなく航空機造林の適地であるが、窒素、燐、加里、石灰等の土壤養分が不足する場合が多い。
- b. ②、③の末木枝条の多い林床及び④、⑤の草木の多い林床では、火入れが広く行われている。

有機物層の薄い場合は、末木枝条、又は草木への火入れにより土壤の有機物層も灰となり、ミネラルソイルが露出するが、有機物層が著しく厚い場合には火入れ後に機械による地表処理が必要となることもある。

熱帯地域では⑤が少ないので、火入れ後の機械による地表処理の対象地は少ないと考えられる。

火入れによる地表処理は、大面積を一度に実行できるため、対象面積にもよるが、機械による地表処理に比べて経費は極めて安い。

但し、インドネシアでは原則的に火入れが禁止されているという例もあるので、対象国の制度等を事前に調査する必要がある。

- c. 熱帯地域は有機物層が比較的少ないので、機械による地表処理の必要性は少ないと考えられる。しかし、以下の場合には機械による地表処理が必要と思われる。

- ①土壤硬度が高いので、物理的性質を改良するため。
- ②乾燥地帯におけるディスクによる畝上げ。
- ③湿地帯における排水のためのディスクによる畝上げ。
- ④草丈が高く、密生しているところでの、種子の着床及び成長を助長するため。

- d. 発芽後に雑草との競争を減ずるためには、火入れ、または機械による地表処理だけでは不十分な場合がある。この場合は除草剤が極めて有効である。しかし、使用については、社会及び自然環境への影響等について十分検討する必要がある。

4-2 地表処理の種類

航空機造林に適用する地表処理は、火入れによる方法と機械による方法の2種類に大別

できる。

① 火入れによる地表処理

火入れによる地表処理は、地表の植生、末木枝条及び枯損木等を効率的に除去する方法であるが、比較的大面積に火入れが可能な場合と延焼防止のため小区画単位で行わざるを得ない場合とがある。

樹種によっては、播種前あるいは播種後に火入れを行うことによって発芽・活着が促進されるものもあるので、この場合には火入れが効果的と考えられる。

② 機械による地表処理

機械による地表処理は、ファームトラクターあるいはトラクターにブレード、プラウ、ハロー等のアタッチメントを取り付けて行う方法であり、以下のような主な処理方法がある。

- a. クリアリング …… トラクターにブレード（排土板）を取り付けて地表植生を除去する。
- b. プラウイング …… トラクターでプラウまたはロータベーターをけん引し、耕耘する。
- c. ハローイング …… トラクターでハローをけん引し、碎土と根の切断を行う。
- d. リッパーリング …… トラクターにリッパーを取り付け、地表面の掻き起こしを行う。
- e. ドーシング …… トラクターにブレードを取り付け、作業道を作設するように軽度に切削する。

機械による地表処理は、傾斜が15°程度まで採用できるが土壌の保全面から土砂の移動及び地表処理の適期等について予め検討しておく必要がある。

なお、インドネシア国南カリマンタン州のアラン・アラン草地でロータベーター及びデスクプラウ使用の地表処理を行った結果、多分土壌の肥沃によると思われるが、以前よりも密生し、さらに *Saccharum* sp. も繁茂することとなったので、機械による地表処理に当たっては、これらの事柄も念頭に置く必要がある。

前項でも述べたように、地表処理に除草剤を使用する方法もあるが社会及び自然環境への影響等について十分検討する必要がある。

4-3 地表処理の方法

前項で述べたように、地表処理は大別して火入れによる方法と機械による方法の2種類

がある。

① 火入れによる地表処理

- a. 火入れ対象地が傾斜地の場合は、無風の場合は山側から点火する。また風がある場合は風下から点火するのが一般的である。

② 機械による地表処理

- a. 機械による地表処理には、以下のような組合せがあるが地表処理に当たっては散布事業の目的、対象地の立地条件及び地表処理の必要度に応じた最適な方法を選択する必要がある。

○クリアリング → プラウイング → ハローイング

○クリアリング → プラウイング

○クリアリング → ハローイング

○クリアリング

○ドーシング → プラウイング

○ドーシング

5. 航空機の選定等

5-1 機種を選定

1. 空中散布に使用する航空機には、回転翼機と固定翼機がある。
2. 回転翼機あるいは固定翼機を選択は、散布対象地の地形、広がり、大きさ、単位面積当たりの散布量、航空基地の位置等及び所要経費等を検討して決定する。
3. 機種を選定は、輸送する物資の種類、単位最大重量、荷姿（荷の形状）、輸送全重量、輸送期間及び作業現場の条件等に対して、十分な機能を有し、かつ経済的な機種であるか否かを検討して決定する。

(1) 回転翼機と固定翼機の主な特長は以下のとおりである。

— 回転翼機 —

- ①急傾斜地や起伏の多い地形にも適する。
- ②機動性が大きい。
- ③散布速度は高速～低速（ホバリング）まで可変できるので、きめの細かい散布が可能である。
- ④小型固定翼機と比較して、積載量は大きい。
- ⑤離着陸の制約が少なく、散布区域までの到達距離を短くとれる。

⑥散布装置によっては、材料の積込み及び散布作業が迅速にできる。

⑦散布作業には熟練技術が必要である。

⑧固定翼機に比べて価格が高い。

— 固定翼機 —

①散布面積が広く、散布密度の小さい散布に適する。

②平地～緩傾斜地の地形で、起伏が少ない場所に適する。

③散布速度は回転翼機に比べて大きいので、きめの細かい散布はできない。

④使用機種は小型機が一般的であるので、積載量は少ない。

⑤滑走路を必要とするので、離着陸に制約がある。

⑥材料の積込みに時間がかかる。

⑦回転翼機に比べて価格が安い。

5-2 散布方式

散布方式は、主に散布規模と土壌、傾斜等の立地条件および散布装置、散布材料の種類によって決定するが、作業の効率性、散布の確実性も考慮して決定する。

散布方式の選定基準は表Ⅱ-6に、散布方式の模式図は図Ⅱ-2に示した。

表Ⅱ-6 散布方式の選定基準

条 件	散 布 方 式
下記以外の場合	1回散布スラリー方式
対象地の状況または散布資材等の関係で、1回散布スラリー方式では均一散布かつ確実な成果が期待できない場合	2～3回散布スラリー方式
植生の定着または生育に必要な条件がとくに劣悪な場合、または木本植物の確実な生育を期待する場合	ベース方式

① スラリー方式

この方式は、種子、肥料、侵食防止材その他の材料を混合した粘液状の基材（スラリー材）を、タンクまたはバケツで均一に散布する方式である。なお種子のみ、または種子と肥料を散布する場合等もこれに含める。この方式には、すべての材料を同時に混入、散布する1回散布方式と、侵食防止材以外の材料を混合、散布しその上に侵食防止材（とくにアスファルト乳剤）を散布する2回散布方式、および当初に肥料、土壌改良材を散布し、次いで種子を、最後に侵食防止材を散布する3回散布方式がある。なお、3回散布方式には、当初に侵食防止材と土壌改良材を、次に種子と肥料を、最後に当初と同じ材料を散布する方式（通称サンドイッチ方式という）があるが、最近では実施され

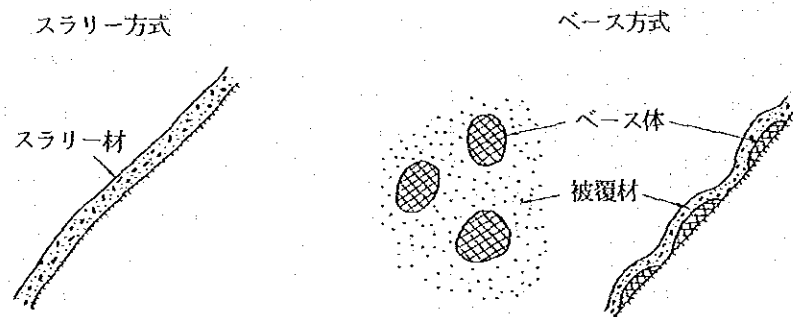
ていない。

1回散布スラリー方式は、作業が単純で効率もよく、現在広く行われている方式である。ただし侵食防止材にアスファルト乳剤を用いる場合は種子に薬害のおそれがあるので、この方式は避けるべきである。

2回散布方式および3回散布方式は、薬害のおそれが強い材料を用いる場合、種子のコーティングによって害を防ぐことができる。

② ベース方式

ベース方式は種子、肥料、混和材を混じたベース材を塊状に分散投下し、次いでスラリー材を全面に散布するものである。ベース材は植生の生育に必要な材料を十分に混じ、しかも粘性が強いので、有力な緑化基材となる。したがって植生の生育に必要な土壌がとくに少ない露岩地、石礫地や種子等の定着がとくに困難な急斜地等においては、この方式を用いることが適当である。なおベース方式は、ベース材に木本種子、スラリー材に草本種子をというように、植生の成立区域をある程度分けることによって草本による木本の被圧や競合を防ぎ、木本成立の可能性を高くすることができる利点もある。スラリー方式、ベース方式の模式図は図Ⅱ-2のとおりである。



図Ⅱ-2 散布方式模式図

5-3 散布装置

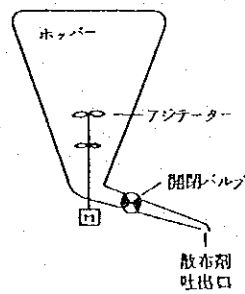
散布装置は、散布方式、散布材料の種類・形状、積載量、攪拌、吐出量等及び使用航空機との適合性も検討して決定する。

散布装置の選定基準は表Ⅱ-7に、散布装置の模式図は図Ⅱ-3に示した。

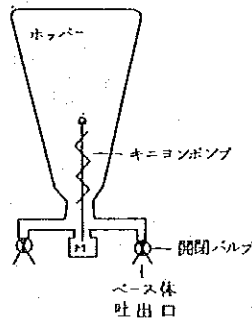
表Ⅱ-7 散布装置の選定基準

条 件	散 布 装 置
1回または2回散布スラリー方式による散布、ベース方式によるスラリー材を散布する場合	吊下げ式バケツ
3回散布スラリー方式による種子、侵食防止材等の単独散布、または形状等がほぼ同一な材料の混合散布、ベース方式によるベース材を散布する場合	横抱き式ホッパー
粒状の種子、肥料等の単独散布または粒径等がほぼ同一な粒状の材料を混合して散布する場合	ホッパーに粒剤散布装置を着装
粉状の肥料等の単独散布または、形状等がほぼ均一な粉状の材料を混合して散布する場合	ホッパーに粉剤散布装置を着装
液状の肥料等の単独散布または性状等がほぼ同様な液状の材料を混合して散布する場合	ホッパーに液剤散布装置を着装

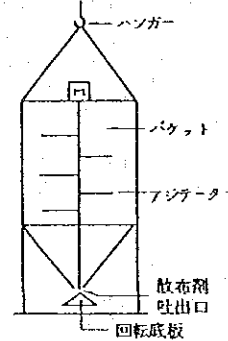
スラリー方式の横抱き式
散布装置
(ANA・S-11型)



ベース方式のベース材
散布装置
(ANA・G-13型)

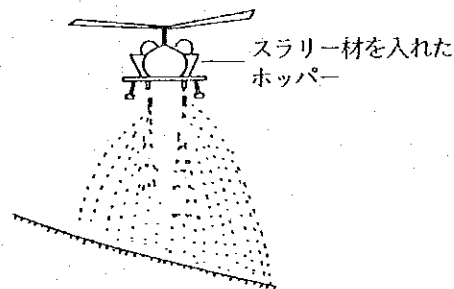


スラリー方式の吊下げ式
散布装置
(NNK型)

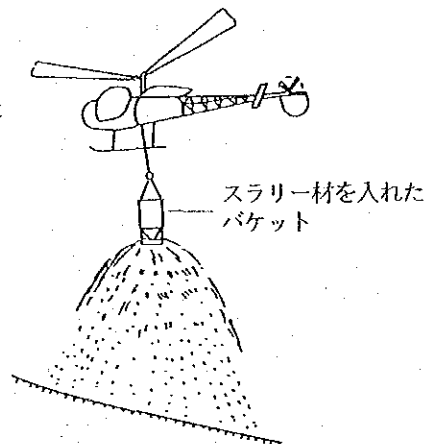


図Ⅱ-3 散布装置模式図

横抱き式



吊下げ式



図Ⅱ-4 散布装置の装着模式図

① 散布装置は大別して次の2種類がある(図Ⅱ-3、4)。

- a. 横抱き式散布装置 …… 機体の両脇にホッパーを装着する。
- b. 吊下げ式散布装置 …… 機体の下部にバケットを吊り下げる。

横抱き式散布装置は散布材料が1種類の場合、または数種類であっても、それらの形状、性質等がほぼ同一であれば、それに合わせて粒剤散布装置（主として種子、肥料、混和材用）、粉剤散布（散粉）装置（主として侵食防止材用）、液剤散布（噴霧）装置（主として侵食防止材用）等を散布装置の吐出口に取付けると、より均一に能率的な散布が行える。

吊下げ式散布装置は散布材料の全種が混合でき、横抱き式散布装置に比べて材料の投入混合が容易である。また、材料の分離が起こり難く、吐出口が詰まるおそれも少ないので、多量の吐出しが可能で能率的である。なお、吊下げ式散布装置を採用する場合は、作業の効率化を図るために2箇用意し交互に使用する。

- ② 散布装置に攪拌装置がついている場合は、これを作動させると散布材料が分離することは少ない。吐出能力は装置および散布材料によって異なるが 170kg～450kg/分の能力がある。なお、散布装置には吐出速度を調節する装置がついているものが多い。
- ③ 散布材料を拡散する装置としては、固定翼機使用の場合はベンチュリー型とスリンガー型（パワードライブン型）がある。

ベンチュリー型は動力によらず、気流圧の差を利用して拡散投下を行うものであり、スリンガー型はモーターにより吐出口を回転させ、遠心力によって材料を拡散投下するもので、吐出口は円盤状のものとチューブ式のものがある。

回転翼機使用の場合は、スリンガー型のみである。

- ④ 散布量は、散布装置の吐出能力、飛行速度、有効散布幅によって決る。この関係を数式で示すと以下となる。

$$X = \frac{a}{(1,000 \times b \times c) \div 60}$$

X : 1回の散布による単位面積当たりの散布量 (kg/m²)

a : 散布装置の吐出能力 (kg/分)

b : 作業飛行速度 (km/hr.)

c : 有効散布幅 (m)

例えば、吐出能力 300kg/分の散布装置によって、時速20kmのヘリコプターで高度20mから散布し、その有効散布幅が6mであったとすると、2,000m²に300kgの材料が散布されることになる。

なお、ホッパーに材料を積込むときは、左右均等に積込む。

5-4 飛行諸元等

(1) 積載量

積載量は、主として使用航空機の機種、散布装置および対象地の標高によって決定する。

- ① 航空機の積載量（運搬能力）はエンジンの出力によって決まるが、出力は気温、湿度、標高等に影響される。また、同機種であっても個々の機体によって自重、性能が若干異なり、また、散布装置は個々の機体ごとに製作されているので、積載量は機体によって差がある。

(2) ヘリコプターの性能と積載能力

① 運用限界

ヘリコプター運用上の限界（最大離陸重量）は、航空法によって機種ごとに決められている。

積載重量は、この最大離陸重量を基準にして燃料、散布装置、搭乗者の重量などを差引いた残りの重量となる。しかし、積載重量を制限する要因は、この他に標高、気温、湿度、ヘリポートの地形などがある。

② 積載重量の計算

表Ⅱ-8、9は散布事業に使用されている主なヘリコプターの性能を示したものである。これを基にヒューズ 300C(269C)型ヘリコプターの積載重量を試算すると以下のようになる。

○ヒューズ 300C(269C)型ヘリコプターの積載重量の計算例

最大離陸重量（運用限界）	862kg
ヘリコプターの自重	- 474
散布装置の重量	- 70*
燃料・潤滑油重量	- 50
搭乗員の体重	- 68
計算上の積載重量（標準大気）	200kg
気象的制限因子	安全係数 0.8~0.9
機械的制限因子	
地形的制限因子	

以上から、積載重量は最小 160kg、最大 180kgとなる。

*散布装置の重量は平均的な重量の70kgとしたが、装置の種類および型式によって40kg~100kgの幅がある。

表Ⅱ-8 散布事業に使用されているヘリコプターの性能

項目	機種	ベル47G2	ベル47G2A	ベル47G3B-KH4	ベル47G3B-1	ベル47G4A	ベル47G4Aソロイ
エンジン		ライカミングVO-435 A1A, B, D, 200hp	ライカミングVO-435 A1E, 240hp	ライカミングTVO- 435-B1A, D1A, D1B 260hp	ライカミングTVO-435 -B1B 260hp	ライカミングVO-540 -B1B3 280hp	アリソン250-C20B 1 258shp
主回転翼		木金混合 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1
尾回転翼		金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1
全長		12.62m	13.17m	13.30m	13.17m	13.30m	13.17m
全幅		10.71m	11.32m	11.32m	11.32m	11.32m	11.32m
全高		2.83m	2.88m	2.84m	2.84m	2.84m	2.84m
胴体全長		9.27m	9.63m	9.94m	9.63m	9.63m	9.63m
主回転翼円板面積		90.02㎡	100.80㎡	100.80㎡	100.80㎡	100.80㎡	100.80㎡
尾回転翼円板面積		2.35㎡	2.35㎡	2.35㎡	2.35㎡	2.35㎡	2.35㎡
燃料消費量		51.5ℓ/hr					75.7ℓ/hr
最大巡航速度		161km/hr/海面上	169km/hr/海面上	169km/hr/15,000Ft	169km/hr	169km/hr	169km/hr
経済巡航速度		124km/hr/海面上	146km/hr	146km/hr	124km/hr	146km/hr	113km/hr/海面上
上昇率		244m/min/海面上	283m/min	283m/min	325m/min	277.8m/min	579m/min/海面上
実用上昇限度		4,115m	3,962m	6,218m	3,414m	3,414m	4,877m
航続時間		3hr	3.5hr	3.9hr	4.2hr	4.3hr	2.9hr
航続距離		354km	362km	325km	380km	475km	324km
最大重量		1,111kg	1,293kg	1,293kg	1,293kg	1,338kg	1,338kg
自重		726kg	743kg	777kg	814kg	823kg	811kg
散布材料の標準搭載量		120~140kg	160~180kg	160~200kg	180~200kg	200~220kg	270~300kg

項目	機種	ベル47G-5	ヒューズ300C(280C)	エンストロム280C	ヒラ-UH-12E	ヒラ-UH-12Eソロイ	ベル206B
エンジン	ライカミングVO-435 -B1A	ライカミングH10-360 DIA	ライカミングH10-360 E1AD	ライカミングVO-540 -C2A	アリソン250-C20B	アリソン250-C20B	アリソン250-C20B
出力	265hp	190hp	205hp	305hp	301shp	317hp	317hp
主回転翼	金属 セミリジット 2枚羽根×1	金属節式金属 3枚羽根×1	金属節式金属 3枚羽根×1	22531101-04 金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1	金属 セミリジット 2枚羽根×1
尾回転翼	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	5504409 金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1
全長	13.17m	9.42m	11.15m	12.41m	12.41m	12.41m	11.82m
全幅	11.32m	8.18m	9.75m	10.80m	10.80m	10.80m	10.16m
全高	2.84m	2.66m	2.74m	3.09m	3.09m	3.09m	2.91m
胴体全長	9.63m	8.76m	8.56m	8.69m	8.69m	8.69m	8.74m
主回転翼円板面積	100.80㎡	52.53㎡	74.69㎡	91.97㎡	91.97㎡	91.97㎡	81.10㎡
尾回転翼円板面積	2.35㎡	1.32㎡	2.02㎡	2.21㎡	2.21㎡	2.21㎡	1.95㎡
燃料消費量		35ℓ/hr	49ℓ/hr				
性能	最大巡航速度	169km/hr/海面上	188km/hr	154km/hr/海面上	154km/hr	154km/hr	225km/hr/海面上
	経路巡航速度	142km/hr	161km/hr	177km/hr	145km/hr/海面上	118km/hr	219km/hr/海面上
性能	上昇率	262m/min	351m/min	393m/min/海面上	520m/min	520m/min	384m/min/海面上
	実用上昇限度	3,109m	3,658m	5,921m	4,938m	3,658m	6,096m
性能	航続時間	547km	8.5hr	3.7hr	2.7hr	3.5hr	554km/海面上
	航続距離		410km	466km	283km	565km	
重量	最大重量	1,293kg	862kg	1,000kg	1,270kg	1,406kg	1,452kg
	自重	721kg	474kg	681kg	801kg	748kg	660kg
重量	救急材料の標準搭載量	180~200kg	160~180kg	120~140kg	240~260kg	270~300kg	300~350kg

項目	機種	ヒューズ500(369HS)	ヒューズ500D(369D)	ヒューズ500E(369E)	SA315B(ラマ)	AS350B
エンジン出力	アリソン250-C20 317shp	アリソン250-C20B 420shp	アリソン250-C20B 420shp	アリソン250-C20B 420shp	ツルボメカ・アルツーストⅢB 562hp	ツルボメカ・アリエル 1B×1 641hp
主回転翼	全関節式金属 4枚羽根×1	全関節式金属 5枚羽根×1	全関節式金属 5枚羽根	全関節式金属 5枚羽根	金属 3枚羽根×1	グラスファイバー 3枚羽根×1
尾回転翼	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根×1	金属 2枚羽根	金属 2枚羽根	金属 3枚羽根×1	金属外皮 2枚羽根×1
全長	9.24m	9.54m	9.39m	9.39m	12.92m	12.99m
全幅	8.03m	8.05m	8.05m	8.05m	11.00m	10.69m
全高	2.50m	2.71m	2.66m	2.66m	3.09m	3.08m
胴体全長	7.01m	6.87m	7.49m	7.49m	10.26m	10.91m
主回転翼円板面積	50.60㎡	50.89㎡	50.89㎡	50.89㎡	95.00㎡	89.75㎡
尾回転翼円板面積	1.32㎡	1.32㎡	1.53㎡	1.53㎡	2.84㎡	2.72㎡
燃料消費量						134kg/hr
最大巡航速度	245km/hr	257km/hr/海面上	257km/hr/海面上	257km/hr/海面上	120km/hr	246km/hr
最大巡航速度	222km/hr	238km/hr/1.524m	249km/hr/1.524m	249km/hr/1.524m		235km/hr/海面上
上昇率	518m/min	518m/min/海面上	572m/min/海面上	572m/min/海面上	250m/min/海面上	643m/min/海面上
実用上昇限度	4389m	4877m	448m	448m	3400m	5000m
航続時間		2.3hr	2.8hr	2.8hr		4.6hr
航続距離	607km	539km	515km	515km	510km	740km
最大重量	1,157kg	1,361kg	1,361kg	1,361kg	1,750kg	1,950kg
自重	493kg	599kg	608kg	608kg	995kg	1,050kg
散布材料の標準搭載量	300~350kg	300~350kg	300~350kg	300~350kg	600~700kg	400~500kg

項目	機種	ベル204B	ベル204B-2
エンジン	ライカミングT5311A	ライカミングT5313D	
出力	1.100shp	1.400shp	
主回転翼	金属セミリジット 2枚羽根×1	金属セミリジット 2枚羽根×1	
尾回転翼			
全長	17.37m	17.37m	
全幅	14.63m	14.63m	
全高	4.42m	4.42m	
胴体全長	14.66m	14.66m	
主回転翼円板面積	168.12㎡	168.12㎡	
尾回転翼円板面積	5.27㎡	5.27㎡	
燃料消費量	247kg/hr	247kg/hr	
性能	最大巡航速度	222km/hr	222km/hr
	巡航速度	217km/hr	217km/hr
上昇	上昇率	488m/min	488m/min
	実用上昇限度	4815m	4816m
航続	航続時間		
	航続距離	531km	531km
重量	最大重量	3,856kg	3,856kg
	自重	2,087kg	2,087kg
量	散布材料の標準積載量	1,000kg	1,000kg

表II-9 飛行速度と標準散布量

適用野	作業名	散剤型	標準散布量 (kg/ha)	機 種 別 飛 行 速 度										備 考			
				ヘル47	ヒューズ 300	ヒラー UH-122	G 4 A ノロイ	ヒラ-UH- 122ノロイ	ヒューズ 500	ヘル 206B	AS350B (ラー)	SA315B (ラー)	SE3160		ヘル204B (204B-2)	パートル 107-2	
森 林	液 剤		30~60kg	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)		
	液 剤 (ガンソスル散剤)		120~300kg				40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)	40以下 (25以下)		
	液 剤		8kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
	少量散剤		2~10kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
	散 剤	病害予防		50~70kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
	粉 剤		20~70kg	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)	48~56 (30~35)		
	粒 剤		30~30kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
	液 剤		50~130kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
	粒 剤		20~250kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
	施 肥		130~750kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)		
のりみ置除		0.5~1.5kg	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)	48~64 (30~40)			
治 山	緑化資材 (液状泥水)		1~20t	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)	0~64 (0~40)			
	緑化資材 (パウダ)		1~20t														
	固形剤 (ガンソスル散剤)		2.0kg/m ²														
	粉 剤	のり発芽促進	6kg	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)		
水 産	液 剤		2.2kg	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)			
	粉 剤	のり色増進	1.6kg	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)			
	粒 剤		8~11kg	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)	64~80 (40~50)			

(注) 散粒剤は、散粒剤及び微粒剤とする。

(3) 飛行速度及び飛行時間

① 飛行速度と標準散布量の関係は表Ⅱ-9に示した。

標準散布量 130～750kgに対し、飛行速度は48～64km/hrの範囲で算定するとよい。

② 飛行時間は往復飛行時間と作業飛行時間に分けて算定する。

a. 往復飛行時間はヘリポート（作業基地）から作業現場までの所要時間で、水平飛行距離と垂直飛行距離の有無及び飛行速度から算定する。

b. 作業飛行時間は散布装置からの材料吐出時間と旋回時間からなる。

吐出時間は散布装置によって決定され、100kg当たり2時間～7時間の幅があり、装置により変動が大きい。

また、旋回時間は一般に吐出時間の1/4～1/2で算定する。

(4) 飛行高度及び飛行間隔

参考までに日本の農林水産業における散布飛行高度と飛行間隔は表Ⅱ-10に示した。

航空機造林での散布飛行高度は30～40mを標準とし、気流及び地形の変化によって適宜変化させる。また飛行間隔は20～25mを標準とするが、散布幅は種子の形状等により異なるので、あらかじめ確認しておく必要がある。

表II-10 散布飛行高度と飛行間隔

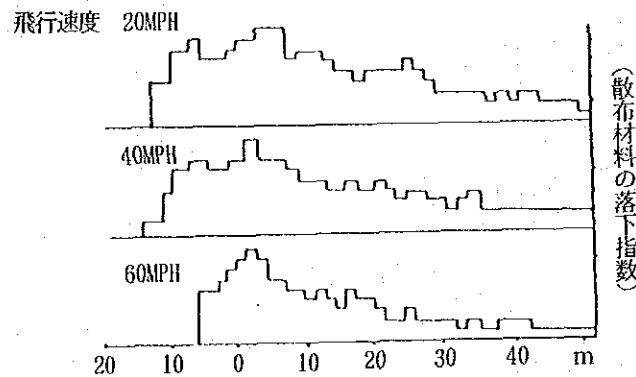
適用分野	作業名	散布剤型	機 種 別 飛 行 高 度 及 び 飛 行 間 隔				備 考	
			飛行高度	飛行間隔	飛行高度	飛行間隔		
森 林	病害虫防除	液 剤	樹冠上 5~15m	10m及び20m	樹冠上 10~15m	10m及び27m		
		液 剤 (ガノスル散布)	樹冠上 5~10m	5m	樹冠上 5~10m	5m		
		液剤少量散布	樹冠上 5~15m	22m	樹冠上 10~15m	27m		
		微量散布剤	樹冠上 5~15m	22m	樹冠上 10~15m	27m		
	除 草	液 剤	樹冠上 10~20m	15~20m				
		粉 剤	樹冠上 5~15m	20m				
		粒 剤	樹冠上 20~30m	20m				
		液 剤	樹冠上 10~20m	20m	樹冠上 10~20m	20m		
		粒 剤	地上 30~40m 樹冠上 20~30m	20m	地上 30~40m 樹冠上 20~30m	20~25m	地上 30~40m 樹冠上 20~30m	上段：樹高の低い場合 下段：樹高の高い場合
		粒 剤	地上 30~40m 樹冠上 20~30m	25m	地上 30~40m 樹冠上 20~30m	25m	地上 30~40m 樹冠上 20~30m	上段：樹高の低い場合 下段：樹高の高い場合
治 山	緑化工 (液状泥状)	粒 剤	地上 30~60m	30~40m	地上 30~60m	40~50m		
		液 剤	地上 3~30m	3~20m	地上 3~30m	3~20m	地上 3~30m	
	のり発芽促進	粉 剤	地上 1~3m	散布幅 2m 散布間隔 5m	地上 1~3m	散布幅 2m 散布間隔 5m	地上 3~30m	5~8m
		粉 剤	海面上 5~10m	20m				
水 害	液 剤	粉 剤	海面上 5~10m	20m				
		粉 剤	海面上 5~10m	20m				
	粉 剤	海面上 5~10m	20m					

(注) 1. 散布飛行高度で特に指定のない場合は、作物上又は地上からの高度を示す。
 2. 粒剤及び液状泥状剤における散布飛行間隔は、資材の形状等によって散布幅が異なる場合があるので、あらかじめ散布幅を確認する。
 3. 微量剤は、微粒剤及び液状泥状剤とする。

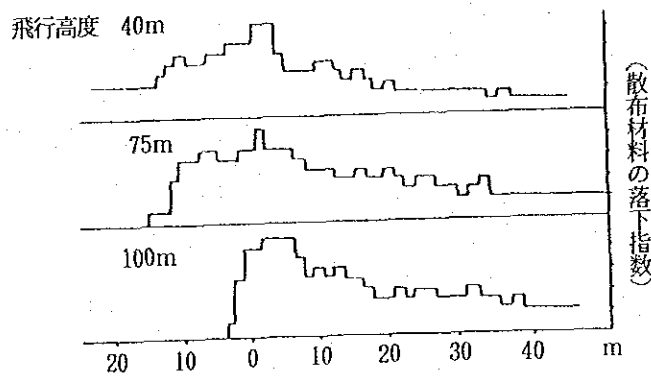
(5) 飛行諸元と散布材料の落下分散

散布材料の落下分散は、ヘリコプターの飛行速度と飛行高度に影響される。一般的には以下のような関係が認められている。

- a. 飛行速度が速くなると散布材料の落下分散幅は狭くなる。また、ダウンウォッシュ (downwash、洗流) の効果が少なく、散布材料の落下に時間を要することからドリフト (drift) が多くなる。
- b. 飛行高度が高くなると、散布材料の落下分散幅は狭くなる。また、散布材料の落下に時間を要するため風の影響を受けやすく、ドリフトが多くなる。図II-5、6に飛行速度及び飛行高度と散布材料の落下分散の関係を示した。



図II-5 飛行速度と散布材料の落下分散 (飛行高度7m)



図II-6 飛行高度と散布材料の落下分散 (飛行速度40MPH)

(6) 作業工程

航空散布の作業工程は、次の事項から算定する。

- a. 使用機種

- b. 散布装置
- c. 散布諸元
- d. 散布面積
- e. 散布量

以下は種子散布の作業工程を飛行諸元（表Ⅱ－8）等を基に試算したものである。

— 条件 —

使用機種 ; ベル 206B
 散布装置 ; 横抱きホッパー式
 散布諸元 ; 飛行速度 54km/時間
 散布高度 20~30m
 有効散布幅 25m
 積載重量 200kg
 散布能力 80ha/時間、400ha/日（1日当たり5時間）
 散布面積 ; 3,000ha
 散布種子量 ; 10,000粒/ha (Acacia mangium、50,000粒/kg、2kg/haとした)

上記の条件から

作業予定日数 ; $3,000\text{ha} \div 400\text{ha/日} = 7.5\text{日} \approx 8\text{日}$

作業飛行時間 ; $7.5\text{日} \times 5\text{時間/日} = 37.5\text{時間}$

往復飛行時間（作業基地～作業現場間37.5km） ;

$$8\text{日} \times (37.5\text{km} \times 2 \div 150\text{km/時間}) = 4\text{時間}$$

回航時間 ; (指定基地～作業基地間 300km) ;

$$300\text{km} \times 2 \div 150\text{km/時間} = 4\text{時間}$$

したがって回航から散布終了までの飛行時間は45.5時間となり、約9日間を要する。

なお、飛行経費には上記費用の他に調査・試験飛行経費、待機日経費、副資材損料及び同陸送費、指導費等の費用が加算される（5-2 飛行経費の内容と積算 参照）。

(7) 飛行基地及び作業基地等の条件

航空機造林を実施するには、諸施設等も必要である。以下はヘリコプターを使用する場合を中心に、関連する施設等について述べる。

1. ヘリポートの選定

ヘリポートの選定に当たっては、飛行及び作業の安全の確保、作業効率、周囲に及ぼす騒音の影響等を考慮する必要がある。

選定に当たっては、特に以下の事項に留意する。

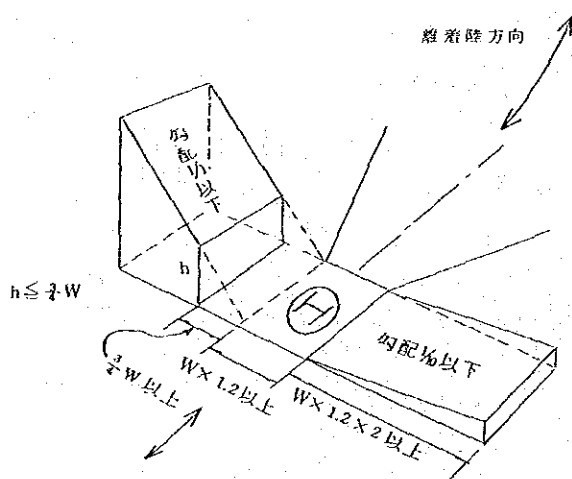
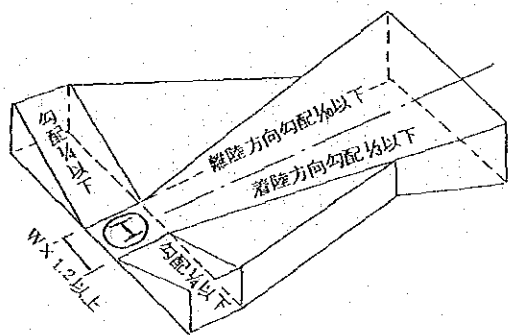
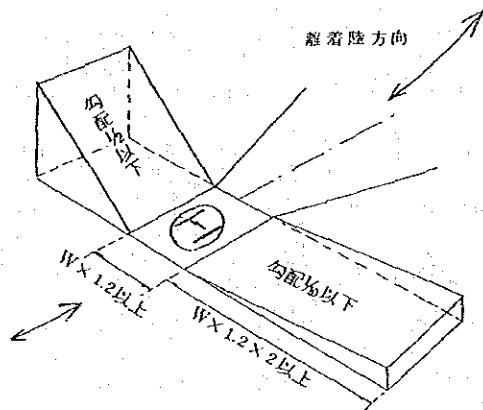
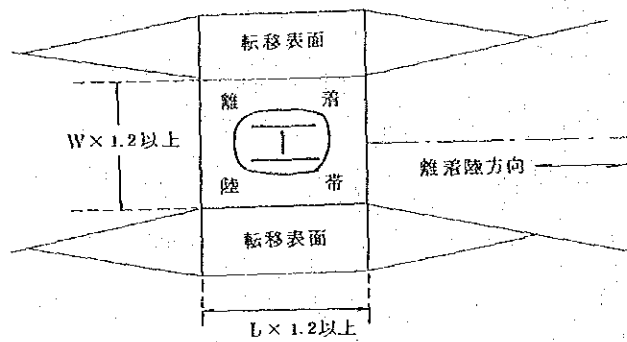
- ①ヘリコプターの離着陸がスムーズに行いうる十分な広さがあり、また、地表は硬さがあり、離着陸の方向には障害物がないこと。
- ②物資搬入用車両の出入りが容易であり、燃料の保管場所、支援車両用駐車場等のスペースが確保できること。
- ③人家、集落等から離れており、ヘリコプターの騒音、安全上の問題が発生する恐れのない場所であること。
- ④地形及び気象条件がヘリコプターの運航に支障がないこと。
特に河川の増水の影響、突風、顕著な上昇・下降気流等について留意する。
- ⑤荷吊し場・荷卸し場と飛行経路との関係が総合的に経済的であること。

2. ヘリポートの施設等

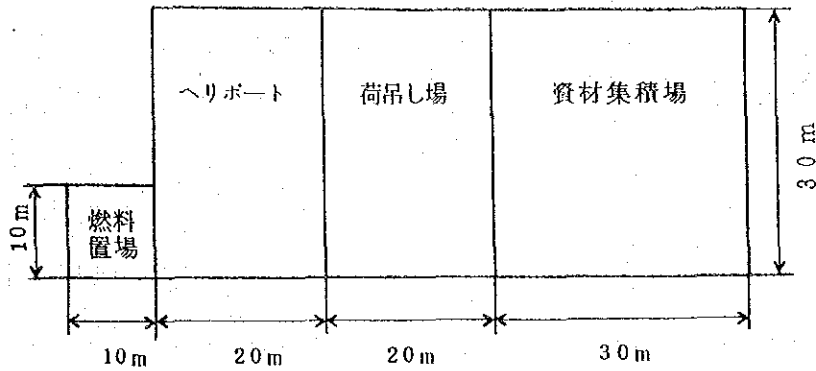
ヘリポートには、離着陸場、燃料置場、荷吊し場・荷卸し場及び資材置場を設ける場合と離着陸場と資材置場のみを設ける場合がある。また、ヘリポートの施設は、使用期間の長短、使用機種等に応じて整備の程度を考慮する必要がある。

以下は、ヘリポート施設の標準的な条件である。

- ① 離着陸場
 - a. 離着陸場の広さは、使用機種の全長（L）の 1.2 倍、全幅（W）の 1.2 倍以上の長さ及び幅を有し、図Ⅱ-7 に示した周辺域を有すること。
 - b. 離着陸場は、地表を水平に整地し（5° までの傾斜を許容）、機体の重量に耐える構造でなければならない。
 - c. 離着陸場は、ヘリコプターの風圧等によって生ずる土ぼこりの防塵対策のために散水設備、簡易舗装、鋼板等で整備する。
 - d. 着陸地点には、白色又は識別しやすい色の一色でⓐのマーク（直径 4.0m 以上）を標示する。



[ヘリポートに併設する場合の例]



図Ⅱ-7 ヘリポートの施設

② 燃料置場

ヘリコプターに使用する燃料は、危険物に該当し、貯蔵及び取り扱いには規制を受ける。燃料置場は法令等で定める要件を備えなければならない。

以下は、燃料置場の標準的な要件である。

- 燃料置場（屋外貯蔵所）は、湿潤地でなく、かつ排水が良好な場所に設置する。
- 燃料置場は柵等を設けて、他の場所と明確に区画する。
- 燃料置場の面積は、5,000ℓ（ドラム缶25本）の場合は約20㎡、10,000ℓ（ドラム缶50本）の場合は約40㎡が必要である。
- 燃料置場の周囲は、その貯蔵量に応じた空地が必要である。

5,000ℓ（ドラム缶25本）の場合 …… 3m幅

10,000ℓ（ドラム缶50本）の場合 …… 6m幅

- 燃料置場には、定められた標識及び掲示板、消火器を設置する。
- 燃料給油車（タンクローリー）を使用する場合でも、ドラム缶貯蔵と同じ設備が必要である。

③ 荷吊し場・荷卸し場

荷吊し場・荷卸し場は輸送する物資の種類、量及び大きさ等によって異なるが、物資を吊り上げまたは吊り卸す際に、他物に接触しない十分な広さが必要である。

以下は荷吊し場・荷卸し場の標準的な要件である。

- 荷吊し場・荷卸し場はヘリコプターが安全に進入、進出ができる飛行経路がとれる位置に設ける。

- b. 進入、進出路の勾配は、ヘリポートの施設の項に準じて行い、支障となる立木等は伐採、除去する。
- c. 進入、進出路の幅（進入、進出路に直角の方向）は40m以上とする。
- d. 荷卸し場が狭隘な場合、傾斜が急な場合（10°以上）等は荷受台を設ける。
荷受台の広さは10m×10m＝100㎡以上とする。

④ 資材置場等

- a. 資材置場は吊り上げ、吊り卸し作業に支障がない位置に、必要に応じて設ける。
- b. 離着陸に際し、ヘリポート付近の風向、風速等の確認ができるように、離着陸に支障のない場所に吹流しを設置する。
- c. 工具類及び副資材等を保管する倉庫と作業員のための休憩所、喫煙所等は必要に応じて設ける。

⑤ 連絡設備

連絡設備は輸送作業の安全確保及び作業の効率化を図るために必要である。

連絡設備、用具及び事項は以下を標準とする。

- a. ヘリコプターとヘリポート間の連絡は航空専用無線機を用いて相互に連絡する。
- b. ヘリポート、荷吊し場、荷卸し場の間は、事業主体等の専用無線機又は有線電話器を用いて相互に連絡する。
- c. ヘリコプターと荷吊し場、荷卸し場との連絡は、ヘリコプターに備えたスピーカー等により報知する。
- d. 上記以外の連絡用具として、連絡板（黒板等）及び通信筒を用意する。

6. 事業計画

6-1 計画の基本的考え方

本マニュアルは、航空機を使用して大規模に森林の回復を図る、いわゆる「環境造林」を目的として取りまとめたものである。

航空機造林の特性及び航空機造林に利点の大きい対象地等については前述の通りで、遠隔地、インフラストラクチャーの未整備地等の厳しい条件下で実行されるものである。したがって航空機造林の計画は、特に以下の事項を骨子として策定する必要がある。

- ①事業目的の明確化
- ②対象地域の自然条件の把握
- ③自然条件に耐性があり、初期成長の旺盛な樹種の選定

- ④種子の確保
- ⑤立地条件に応じた地表処理及び各種工作物の施工の検討
- ⑥資機材の選定
- ⑦航空機の機種及び散布装置の選定
- ⑧社会環境への配慮
- ⑨各種作業のスケジュールの整合
- ⑩現場管理及び維持管理体制の確立

6-2 機械及び諸施設等

本マニュアルは航空機を使って大規模、低費用で早期に森林の回復を図る「環境造林」を目標に取りまとめたものである。表Ⅱ-11には環境造林に必要な主な機械及び諸施設（航空機関連以外）と機械等の経費について示した。これらの機械及び諸施設は散布対象地の立地条件と機械等の必要性の程度及び使用期間等を十分検討して、必要最小限に止めるべきである。また機械等の入手に当たっては購入、リースあるいは請負事業等の有利性も十分検討の上、決定がなされるべきである。

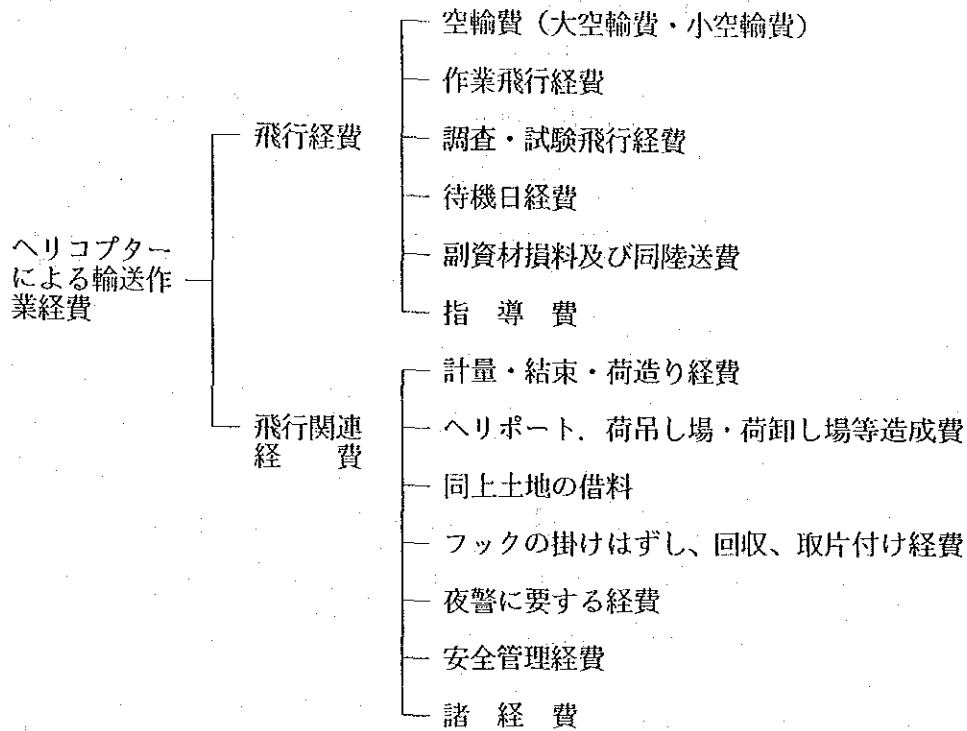
なお、機械の購入等に当たっては、部品の供給及びメンテナンス・サービスについても事前に調査する必要がある。

表II-11 主な機械及び諸施設等

1. 機械及び諸施設	主な使用目的
① 機械等	
トラクター (TRACTOR)	地拵え、林道造成、防火帯造成、用地地均し
ファームトラクター (FARM TRACTOR)	"
バックホー (BACKHOE)	排水施設建設
ダンプトラック (DUMP TRUCK)	切・盛土運搬、骨材等運搬
モーターグレーダー (MOTOR GRADER)	林道造成・補修
小型トラック (PICKUP TRUCK)	資機材の運搬
ジープ (JEEP)	連絡、現場管理
チェーンソー (CHAIN SAW)	障害木等の伐採
付属品—ブレード (BLADE)	
バケツ (BUCKET)	
レーキ (RAKE)	
リッパー (RIPPER)	} トラクター付属品
ハロー (HARROW)	
ロータベーター (ROTERTATOR)	
ウィンチ (WINCH)	
② 施設等	
種子発芽促進機器	
種子貯蔵設備	
防火機器	
管理事務所等の建物・設備	
その他小道具類	
2. 機械等に係わる経費	
① 機械等費	
減価償却 (購入費)	
利子、保険、税金等	
② 運転費	
燃料、潤滑油、グリース、フィルター	
タイヤ	
修理	
部品	
オペレーター給料	
③ その他一般管理費	

6-3 飛行経費の内容と積算

ヘリコプターによる輸送作業に要する主な経費の構成は以下のとおりである。



(1) 飛行経費

① 空輸費

a. 大空輸費

最寄りの指定基地から現地ヘリポートまでの往復に要する経費で、以下によって算出する。

$$\frac{\text{往復飛行距離 (km)}}{\text{空輸飛行速度 (km/hr)} \times 1 \text{時間当たりの空輸料金}} = 1 \text{回当たり大空輸料金}$$

b. 小空輸費

現地ヘリポートを複数箇所設けた場合、そのヘリポート間の空輸経費で、作業の段取りに応じて片道あるいは往復の飛行距離を基に、大空輸費に準じて算出する。

② 作業飛行経費

a. 作業飛行時間

作業飛行経費算出の基になる作業飛行時間は、以下によって求める。

○ 標高差に対する水平飛行距離の比（飛行傾斜）が 1/10 以下の場合

$$\frac{\text{片道距離 (km)}}{\text{往路水平飛行速度 (km/分)}} + \frac{\text{片道距離 (km)}}{\text{復路水平飛行速度 (km/分)}} + \text{荷吊り下げ・吊り卸し時間(分)}$$

= 1回当たり作業飛行時間 (分) …… A

○ 標高差に対する水平飛行距離の比（飛行傾斜）が 1/10 を超える場合

$$A \text{ (分)} + \frac{\text{標高差 (m)} - 1/10 \text{ 相当の標高差}}{\text{上昇速度 (m/分)}} = 1 \text{ 回当たり作業飛行時間(分)}$$

………… B

○ 現地ヘリポートと荷吊し（卸し）場とが離れている場合

$$A \text{ (分)} + \frac{\text{ヘリポートと荷吊し（卸し）場との距離} \times 2}{\left(\frac{\text{復路水平飛行速度 (km/分)}}{\text{1時間当たり飛行回数 (回)}} \right)} = 1 \text{ 回当たり飛行時間(分)}$$

………… C

◎ 計算単位

- ・ 作業飛行距離（片道距離）・ km …… 小数 2 位四捨五入 1 位止
- ・ 飛行距離 (km) ÷ 飛行速度 (km/分) ・ 分 …… 小数 3 位四捨五入 2 位止
- ・ 標高差 ・ 10m
- ・ 標高差 (m) ÷ 上昇速度 (m/分) ・ 分 …… 小数 3 位四捨五入 2 位止
- ・ 1時間当たり飛行回数 ・ 60分 ÷ (A 又は B) …… 小数 2 位四捨五入 1 位止

b. 作業飛行経費の算出

作業飛行経費は、原則として単位重量 (ton) 当たり経費として以下により算出する。

$$\frac{\text{1回の作業飛行時間 (分)} \times (\text{1時間当たり作業飛行料金} \div 60)}{\text{1回の積載量 (ton)}}$$

= 1 ton 当たり経費 …… D

$$D \times \text{輸送全重量 (ton)} = \text{作業飛行経費}$$

また、次式によることもある。

$$\frac{\text{全重量 (ton)}}{\text{1 回当たり輸送重量 (ton)}} = \text{輸送回数} \dots\dots N$$

$$\text{1 回当たり作業飛行時間 (分)} \times N \text{ (回)} = \text{総作業飛行時間 (分)} \dots\dots T$$

$$T \text{ (分)} \times (\text{1 時間当たり作業飛行料金} \div 60) = \text{作業飛行経費}$$

③ 調査試験飛行経費

現地ヘリポートから作業飛行経路を調査・試験飛行する経費で、以下により算出する。

$$\left(\frac{\text{往復距離 (km)}}{\text{復路水平飛行速度 (km/分)}} + \frac{\text{飛行傾斜1/10を越える標高差 (m)}}{\text{上昇速度 (m/分)}} \right)$$

$$\times \frac{\text{1 時間当たり作業飛行料金}}{60} \times \text{飛行回数} = \text{調査・試験飛行経費}$$

注) 計算単位は作業飛行経費を準用する。

④ 待機日経費

悪天候及びその他の支障により、作業飛行が不可能となる日に対する経費である。1 日当たりの経費は通常、1 時間当たりの空輸料金に相当する金額である。

⑤ 副資材の損料及び陸送費

副資材（運搬用のバケット、ワイヤー等）の損料は、資材価格と償却率から算出する。

作業飛行時の1 時間当たりの損料は、資材購入価格の0.04%を標準とする。

副資材陸送費は、基地から現場ヘリポートまでの陸送費である。

⑥ 指導費

ヘリポート、荷吊し場・荷卸し場及び飛行ルートの設定等の指導に要する経費である。

(2) 飛行関連経費

飛行関連経費は、主として発注者（事業主体または施工業者）側の経費である。

① 計量・結束・荷造り経費

労務費、結束梱包材料費、計量器具損料及び機械運転費を内容とし、輸送物質の種類と輸送重量に応じた必要額を積上げて算出する。

② ヘリポート、荷吊し場、荷卸し場等の造成費

支障木の伐採、整地、舗装、荷受台等に要する労務費、機械・器具の損料及び機械運転費、木材・鋼板等の仮設用材料費もしくは損料から積算する。

③ ヘリポート、荷吊し場、荷卸し場等の土地の借料等

仮施設用地等の借料、支障木の補償費等の経費である。

④ フックの掛け外し、回収、取り片付け経費

荷吊し場、荷卸し場におけるフックの掛け外し、搬入された物資の取り片付け等の労務費であり、歩掛りから積算する。

⑤ 夜警に要する経費

機体等を警備するに要する経費であり、駐機日数に応じた夜警労務費及び見張り小屋等の仮設費、光熱費等の経費である。

⑥ 安全管理経費

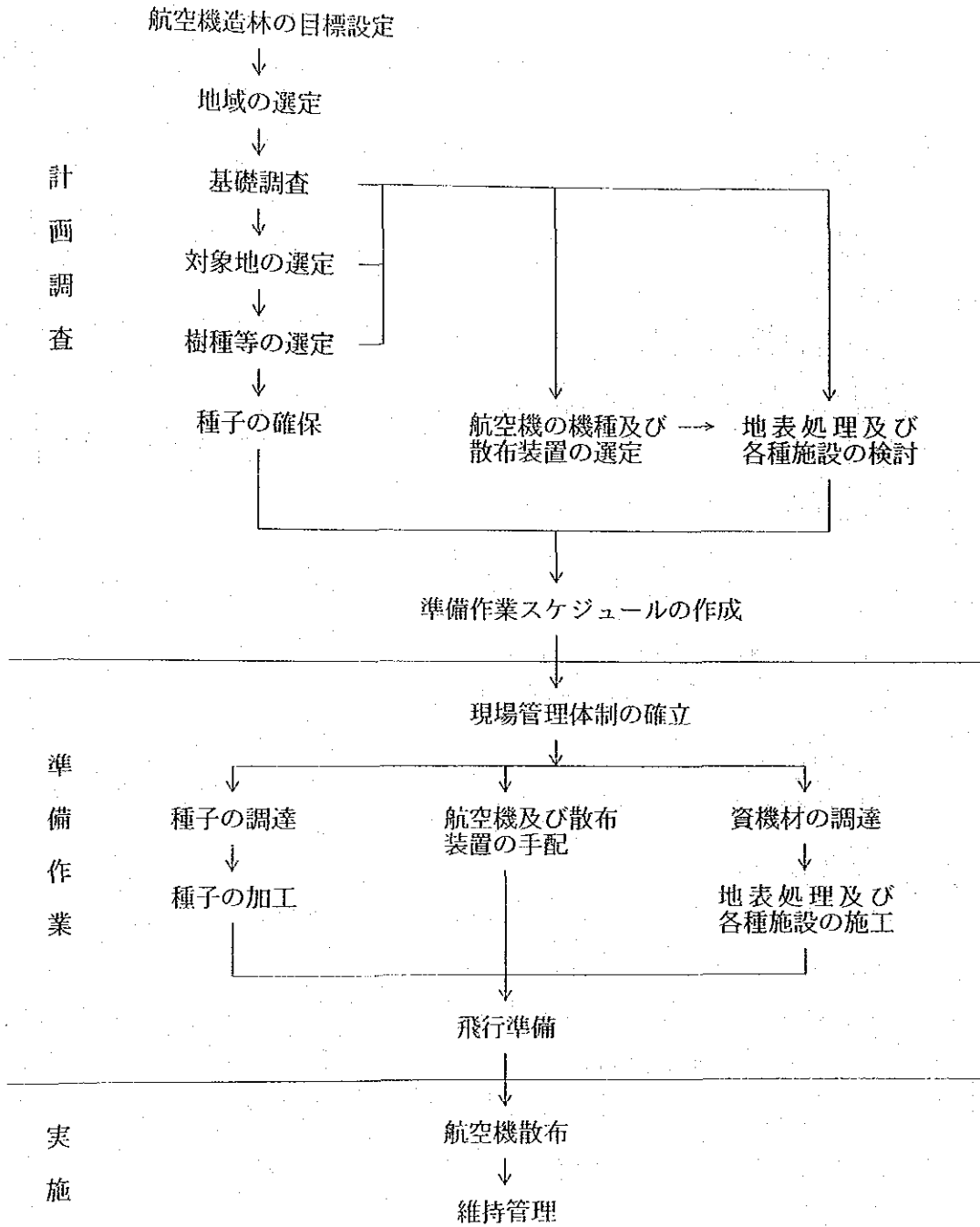
安全運航等のための標識等の材料費及び設置の労務費と安全会議費等の経費である。

⑦ 諸経費

①～⑥の合計額に対するもので、一般的には現場管理費、一般管理費等に区分され、それぞれの純工事費、工事原価の金額に応じた現場管理費率、一般管理費率から積算する。

6-4 作業スケジュール

航空機造林の計画調査から実施にいたる主な作業の手順は図Ⅱ-8に示したが、各作業のスケジュールは航空散布実施の適期を基に、さらに現地の事情等を勘案して作成するのが適切である。



図II-8 航空機造林の作業手順

Ⅲ. 準備作業

1. 種子の準備

1-1 種子の調達

種子の調達には自給、国内購入及び輸入による方法がある。

- a. 自給の場合は、造林者が個人あるいは自社等で独自の採種源（採種林、採種園、採種木）を所有しており、そこから自前で種子を調達する。
- b. 国内購入では、種苗生産業者あるいは公的機関が経営する採種林、採種園等で生産した種子を購入する。
- c. 輸入は、海外の種苗生産業者あるいは公的機関から種子を購入する。

なお、種子の調達が国内購入あるいは輸入による場合は、優良種子を調達するために以下について公的機関等の証明が望ましい。

- ・採種年月日
- ・発芽検定
- ・貯蔵期間、方法
- ・産地

以下、インドネシアにおける造林用種子の調達等について述べる。

① 関係法律

林業省は種子生産を林政の重要課題の一つとしており、以下の法律が定められている。

- ・林業用種子に関する林業省大臣布告 (ko.57/kpts — 11/1990)
- ・林業用種子の輸出入に関する規則
- ・種子輸入許可書 (No.462/kpts — 11/1990)

② 種子採種源

林業省は1990年に種子及び苗木の取り扱いに関する規則を定めて、低品質の種子の流通を防止するために、技術者の配置及び検査設備等に関して、規則で定めた基準を満す業者にのみ種子や苗木の取り扱いを許可することとした。さらに種子の生産も林業省が認めた種子採種源に限定している。

林業省が許可を与えた種苗生産業者は表Ⅲ-1に示した。また、種子採種源は採種地域、採種林及び採種園の3つに分類している。これらの設定状況は表Ⅲ-2～4に示した。

表Ⅲ-1 種子及び苗木の取り扱い許可業者

企 業 名	取り扱い許可品目		本社所在地
	種 子	苗 木	
PT. Kallimex Jaya Group	—	○	Jakarta
PT. Kayu Klapan Timber	—	○	Jakarta
PT. Djajanti Group	—	○	Jakarta
PT. Bina Merata	○	○	Jakarta
Perum Perhutani	○	○	Jakarta
PT. Inhutani 1	○	○	Jakarta
PT. Inhutani 2	○	○	Jakarta
PT. Inhutani 3	○	○	Jakarta
CV. Sumber Bibit	○	—	Bogor
PT. ITCI	○	—	Jakarta

注：1990年12月現在

表Ⅲ-2 採種地域一覧表

樹 種	設定地名	面積ha	設定年	管轄機関	由 来	
Acacia mangium	Subanjeriji	50	1980	インフケニ 1	オーストラリア 東カリマンタン スマタラ、マカ、イアン 南スマタラ	
		50	1981			
		50	1982			
		150	1983			
	Nanga pinoh	25	1981	BRLKT 13	南スマタラ、オーストラリア オーストラリア オーストラリア オーストラリア	
		25	1981			
		25	1982			
		75	1983			
	Bone	Gn. Kidul	50	1983	BRLKT 13	オーストラリア
			6	1982		
Gn. Walat		20	1981	BRLKT 4	マカ、イアン オーストラリア	
Shorea seminis	Sanggau	25	1981	BRLKT 8	Haurbentes 在 来 在 来 在 来	
		50	1982			
		25	1983			
		25	1984			
Dipterocarpaceae	Seri Beras	20	1981	BRLKT 8	在 来 PT. GPI PT. ITCI	
		20	1982			
		20	1983			
Leucaena glauca	Takalar	25	1981	“	在 来	
Aleurites moluccana	Bima, NTB Takalar	50	1981	“	在 来 在 来	
		50	1981			
Eucalyptus urophylla	Subanjeriji	2	1981	インフケニ 1	NTT	
計		863				

注：BRLKT. =流域管理センター
 P.T. GPI = PT. Gunung Putih Indah
 P.T. ITCI = PT. International Timber Cooperation Indonesia
 NTT = Nusa Tenggara Timor

表 III-3 採種林一覽表

樹 種	設 定 地 名	設 定 年	設定面積 (ha)
Pinus merkusii	Takengon	1976	200
	Bandung Utara	1976	300
	Pekalongan	1976	251
	Lawn D. S.	1976	315
	Makale	1976	200
	Bandung Utara	1990	100
Tectona grandis	Banjar Utara, Ciamis	1976	75
	Sumedang	1976	100
	Sumedang	1990	113
Swietenia sp.	Tasikmelaya	1976	23
	Sumedang	1988	100
	Ngawi	1989	100
	Benakal	1990	50
Eucalyptus urophylla	Ende maumere	1981	927
Eucalyptus deglupta	Sidrap	1977	100
	Benakat	1987	100
	Cawing	1988	100
Altingia excelsa	Cianjur & Bandung sel	1976	257
Agathis loranthifolia	Sukabumi	1978	49
Agathis borneensis	Kamaratus	1988	100
	Sanpit	1989	100
Albizia falcataria	Ceuwiliang	1976	20
Diospyros celebica	Lambudolo	1987	100
Leucaena glanca	Kuningan & Cikampak	1986	197
Araucaria cunninghamii	Manckwari	1987	100
Gonystylus bancanus	Mempawah	1981	100
	?	1988	100
Dipterocarpaceae	?	1988	250
	Pulau Laut	1988	100
Shorea sp.	Batu Ampar	1988	100
	Musi Rawas	1988	200
Palaquium sp.	Bangka	1989	100
計			5,027

表III-4 採種園一覽表

樹種	設定地名	面積ha	設定年	系統数	原産地	備考
(実生採種園) P. merkusii	西部ジャワ Cijanbu	16.0	1977	200	ジャワ	
		16.0	1978	200		
		16.0	1979	200		
		16.0	1980	200		
		16.0	1981	200		
		16.0	1982	200		
	中部ジャワ Baturaden	16.0	1977	200	ジャワ	
		16.0	1978	200		
		16.0	1979	200		
		16.0	1980	200		
		16.0	1981	200		
		16.0	1982	200		
	中部ジャワ Sempolan	16.0	1977	200	ジャワ	
		16.0	1978	200		
		16.0	1979	200		
16.0		1980	200			
16.0		1981	200			
16.0		1982	200			
E. urophylla	東チモール Soe	4.0	1982	100	東チモール	1980、1981 設定林分火災 廃棄 8.0ha
		4.0	1983	100		
		4.0	1984	100		
		4.0	1985	100		
南スマタラ Subanjeriji	6.4	1982	100	東チモール	1981、1984 設定林分火災 12.8ha	
	6.4	1983	100			
E. deglupta	南スマタラ Takalar Subanjeriji	4.0	1981	25	南スラウェシ	1983、1984 設定林分火災 6.4ha
A. mangium	南スマタラ	3.0		268	オーストラリア、 クイーンズランド	
S. macrophylla	西部ジャワ	3.0		33	ジャワ造林地	
計		326.8				
(暫定採種園) E. urophylla	南スマタラ Subanjeriji	17.9	1981		東チモール	1983、 設定林分火災 17.0ha
		18.6	1982			
		18.6	1984			
	東チモール Soe	21.0	1981		東チモール	
		21.0	1982			
		21.0	1983			
		21.0	1984			
	E. deglupta	南スマタラ Subanjeriji	21.8	1983		東カリマンタン
南スラウェシ Takalar		46.0	1981		南スラウェシ	一部廃棄
A. mangium	南スマタラ	7.0		268		プラス木
E. urophylla	西部ジャワ	2.0		33		プラス木
計		236.9				
(クローン採種園) P. merkusii	南スラウェシ Pettapang	10.0	1982			1982、1983 設定林分廃棄 10.0、16.0ha
T. grandis	中部・西部及び東部ジャワ	320.0		389		プラス木
計		330.0				

③ 種子の生産と輸出入実績

インドネシアにおける種子の生産実績と計画及び輸出入実績は表Ⅲ-5、6に示した。

表Ⅲ-5 インドネシアにおける種子生産実績と計画

樹種	実績 (1978~1988) kg	実績 (1989~1999) kg
・Acacia mangium	2,000	5,000
・Swietenia macrophylla	20,000	20,000
・Eucalyptus urophylla	5,000	5,000
・Albizia falcataria	10,000	15,000
・Pinus merkusii	15,000	5,000
・Eucalyptus deglupta	2,500	5,000
・Acacia auriculiformis	3,000	2,500
・Schima wallichii var. bancana	200	500
・Peronema canescens	4,000,000*	8,000,000*

* cutting(本)

資料；林業省造林総局造林局種苗課

表Ⅲ-6 1988年インドネシアの種子の輸出入

輸 入			輸 出		
樹種	kg	国	樹種	kg	国
Eucalyptus spp.	50	Brazil Australia Africa	Laucaena leucocephala	200	Africa
Gmelina arborea	30	Malaysia	Calliandra callothyrsus	300	Africa
Pinus caribaea	30	Netherland			
P. oocarpa	30	Netherland			

資料；林業省造林総局造林局種苗課

1-2 種子の精選

種子の精選は、種子の加工効率及び発芽率に大きな影響を及ぼす。採種し、脱粒した種子から夾雑物を除去するには、一般に以下の3つの方法で行う。

- ・ふるい選
- ・風選
- ・液体選

① ふるい選

ふるい選は、種子と夾雑物との選別、あるいは充実種子を比重差を利用して選別するまえに、一般的には種子より大き目、小さ目の2種のふるいを用いて選別する。多量の処理には回転式脱種器あるいは動力選種機等を用いる。

② 風 選

風選は、種子に風をあてて夾雑物等を吹き飛ばし、比重の大きい種子を選別する方法である。多量の処理には電動扇を用い、最初は弱、次にやや強で行うが、樹種に応じた風速で選別する。

風選は樹種により選別に難易がある。すなわち内容充実粒としいなどの比重がほぼ等しい樹種では選別に難があるが、比重差のあるものでは95%以上の充実種子率が得られるとされている。

③ 液体選

液体選は水、アルコール、石けん液、グリセリン等を用いて虫害粒やしいなを除く方法である。

水利用は吸水による沈下時間差を利用する方法、食塩水の利用は比重差を利用する方法で、特に比重の大きい種子の選別に用いる。石けん液の利用は界面張力を利用する方法で、アルコール等の薬品利用と同様に選別後、直ちに洗浄する。

また、アルコール等の薬品の利用は、コスト面から種子の検査、実粒を選びとるような場合だけに用い、大量の精選には用いられない。

1-3 種子量の算出

多くの場合、種子には不純物が混入している。また、単位重量当たりの粒数は樹種によって異なり、発芽率も一定でない(表II-5参照)。したがって単に単位重量当たりの粒数で播種量を決定するのは適正でない。

播種量は次式によって算出する。

$$W = \frac{G}{S \times P \times B}$$

W ; 播種重量 (kg)

G ; 発生期待数 (本/ha)

S ; 平均粒数 (粒/g)

P ; 純度 (%)

B ; 発芽率 (%)

— 計 算 例 —

樹 種 ; *Acacia mangium*

発生期待数 ; 10,000本/ha

平均粒数 ; 55粒/g (55,000粒/kg)

純度 ; 80%

発芽率 ; 10% (地上直播き、地表処理なしで推定)

$$W = \frac{10,000}{55 \times 0.8 \times 0.1} = 2,273 \text{ g}$$

∴ ha当たり 2,273 gの種子が必要である。

1-4 種子の貯蔵

航空機造林では、短期間に大量の種子が必要である(Ⅲ. 1-3 種子量の算出 参照)。また樹種によっては結実に周期的な豊凶があるので貯蔵施設が必要である。

種子の貯蔵には以下の方法がある。

① 乾燥貯蔵

乾燥貯蔵には、常温による方法と低温による方法がある。常温貯蔵の場合は地下室や風通しのよい屋根裏、低温貯蔵の場合は電気冷蔵庫、電気低温防湿装置付タネ貯蔵庫がある。いずれも乾燥重量が10%以下まで低下させてもよい乾性種子に用いる。

a. 常温貯蔵

密封貯蔵と密封しない貯蔵方法がある。密封貯蔵では乾燥剤を使用する方法と、さらに硫化加里などの活力抑制剤を併用する方法がある。

b. 低温貯蔵

種子の含水率は5~7%にする必要がある。また温度は最高で10℃を超えない条件で貯蔵する。乾燥剤、活力抑制剤、活力回復剤を使用する場合は密封貯蔵する。

② 保湿貯蔵

保湿貯蔵には、電気冷蔵庫を利用する低温貯蔵と土中貯蔵がある。いずれも乾燥重量が20%前後を生死の限界とする含水率の高い種子に用いられる。

含水率の高い種子を貯蔵するには、ビニール袋等に入れて種子から放出する水分を制御しながら種子の水分を維持し、常に含水率20%以上に保つことが必要である。しかし、含水率の高い種子には、低温に耐えるものと15℃以下の温度では死滅するものがあるので、0℃~15℃で貯蔵するものと、15℃以上で貯蔵するものに分ける必要がある。

なお、表Ⅱ-17に熱帯性樹木種子の貯蔵可能期間、表Ⅲ-8にインドネシアに於ける種子の採取・貯蔵方法を示した。

表Ⅲ-7 熱帯性樹木種子の貯蔵可能期間

樹 種	貯 蔵 可 能 期 間		
	室 温	21 °C	4 °C
Leguminosae (マメ科)			
Parkia jaranica	4年以上	4年以上	4年以上
Dialium cosiaccae	3年以内	3年以内	3年以内
Intsia palembanica	数年以上	数年以上	数年以上
Pterocarpus spp.	数年間	数年間	数年間
Dipterocarpaceae (フタバガキ科)			
Red Meranti group			
Shorea ojalis	4 カ月	4カ月以上	数 時 間
Shorea leprosula	2~3カ月	3カ月以上	2 日 間
Shorea parvifolia	数カ月	数カ月	2 日 間
Shorea curtisii	数カ月	数カ月	数 時 間
Shorea platyclados	数カ月	数カ月	2 日 間
White Meranti group			
Shorea telura	7カ月以上	7カ月以上	7カ月以上
Shorea assamica	数カ月	数カ月以上	2~3カ月
Shorea bracteolata	数カ月	数カ月以上	2 カ 月
Yellow meranti group			
Shorea resina-nigra	数カ月	数カ月以上	3 週 間
Shorea multiflora	数カ月	数カ月以上	3 週 間
Hopea odorata	数カ月	数カ月以上	2カ月以上

表Ⅲ-8 インドネシアに於ける種子の採取・貯蔵方法

樹種	採取時期	採取方法	貯蔵方法	貯蔵期間
<i>Acacia mangium</i>	2月～3月 8月～9月	木に登り、枝切り器で枝を落とし、さやをとる。 朔果は直接日光に2～3日当てる。	普通の室内ないし空気が調整をした室内に密封容器にて貯蔵	10年以内
<i>Swietenia macrophylla</i>	6月～8月	木に登り、枝切り器ないし、手でたね(核)をもぎとる。	粉炭、のこくず等の吸収剤と殺菌剤を混ぜ、15℃の保湿低温で密封容器に貯蔵	2～3カ月
<i>Eucalyptus urophylla</i>	7月～8月	木に登り、枝を落とし、さやをとる。 朔果は1～2日直接日光に当てる。	温度3～5℃、相対湿度40%の乾燥低温で密封容器にて貯蔵	2年以内
<i>Albizia falcataria</i>	7月～8月 2月～3月	木に登り、枝を落とし、さやをとる。 朔果は2～3日直接日光に当てる。	普通の室内で密封容器にて貯蔵	10年以内
<i>Pinus merkusii</i>	2月～6月	木に登り、枝切り器で球果をとる。 熟した球果はナイフで割り、手で種をとる。	温度3～5℃、相対湿度40%の乾燥低温で密封容器にて貯蔵	12カ月以内
<i>Eucalyptus deglupta</i>	4月～9月	木に登り、枝切り器でさやをとる。 朔果は1～2日直接日光に当てる。	<i>Pinus merkusii</i> に同じ	2年以内
<i>Acacia auriculiformis</i>	2月～3月 8月～9月	<i>Acacia mangium</i> に同じ	<i>Acacia mangium</i> に同じ	12年以内
<i>Schima wallichii</i> var. <i>bancana</i>	4月～8月	木に登り、果実をとる。 3～4日間日光に当て種子をとる。	温度15℃、相対湿度60～80%の保湿低温で密封容器にて貯蔵	12カ月以内
<i>Peronema canescens</i>	8月～11月	木に登り、乾燥した花序をとり、乾いた袋の中でつぶして種子をとる。	温度3～5℃、相対湿度40%の乾燥低温貯蔵庫に密封容器にて貯蔵	—

1-5 発芽促進方法

(1) 発芽促進処理

表Ⅱ-5に主要樹種の種子粒数と発芽促進方法を示した。硬実種子（LEGUMINOSAEの樹木以外でも硬実種子と思われるものがある）には何らかの方法で種皮に傷をつけるか、硫酸あるいは熱湯で処理しないと発芽はむつかしい。

硬実の程度は樹種によって異なり、また同じ樹種でも産地、系統あるいは親木によっても異なる。また年によって成熟の程度も異なることがあるので表Ⅱ-5に示している方法はおおよその目安を示したものである。実際にはロット（lot：ある年にある場所から採種された均質な種子の集団）ごとに少量のサンプルをとって適切な処理法（主に処理時間）を決める必要がある。

熱湯処理方法には、水に種子を入れて所定の温度まで加熱する方法、沸騰した水に種子を入れて、そのまま冷却する方法、網籠に入れた種子に沸騰水をかける方法などがあり、硬実の程度によって使い分けられている。

また、硫酸処理は、種子を濃硫酸に所定の時間浸漬した後に、プラスチック製などの網を利用して硫酸を除き、種子の表面を水で完全に洗い洗す。しかし、硫酸の取り扱いが厄介なので、まず熱湯処理方法を試みて、発芽促進効果が得られれば、熱湯処理によるほうがよい。

発芽促進処理方法には光照射法、浸漬法、低温湿層処理、高温及び低温湿層処理、温度シフト法、種皮に機械的傷害を与えるなどの処理方法がある。種子の特性及び貯蔵方法によって適切な方法を選択する必要がある。

なお、乾燥貯蔵した種子は休眠状態に入っているため、休眠打破の発芽促進処理を必要とするものが多い。

a. 光照射法

赤色光及び自然光で発芽促進する。遠赤色光では発芽が抑制される。

b. 浸漬法

通常は冷水に1～5日間浸漬しておく。貯蔵に発芽抑制剤を使用した場合は、1日当たり2～3回水を取りかえる。

c. 低温湿層処理

種子を低温（1～10℃）で湿った水ごけ、泥炭末、砂、おがくず等に混ぜるか、層別にして適当な水と酸素を与える。これによって種子の後熟が進み、また種皮の機械的抵抗が弱まる。

d. 高温及び低温湿層処理

発芽に長い期間を要するものに用いる。ある期間20~30℃の高温においてから低温にする。

e. 温度シフト法

①40~60℃の高温に30~60分つける、②沸点に近い熱湯に数秒つける、③80℃に数分つける、④50℃に1~5日つける方法等がある。なお、インドネシアではアカシア類 (*Acacia* spp.)、アルビジア類 (*Albizia* spp.) を100℃の熱湯に1分間つけた後に熱源を切り、そのまま24時間浸漬した後に播種している。

f. 傷つけ処理等

少量の場合はナイフあるいはヤスリ等で外種皮に傷をつける。多量の場合は機械によって外種皮に傷つけ処理をする。この他、化学薬品を用いる発芽促進法もある。

(2) 機械による発芽促進処理

航空機造林では、短期間に大量の種子を必要とするが、同時に航空機造林対象地の環境条件等から短期間に高い発芽率が求められる。そこで有効な方法として岩田式小型 (MF) 蕎麦皮剥機 (写真Ⅲ-1) を使用して *Acacia mangium* と *Acacia auriculiformis* の種子に傷つけによる発芽促進処理試験を行った。その結果は以下のとおりであり、発芽促進処理の有効な方法と考えられる。しかし、処理した種子の貯蔵方法及び時間経過による発芽率など今後の課題がある。

a. *Acacia mangium*

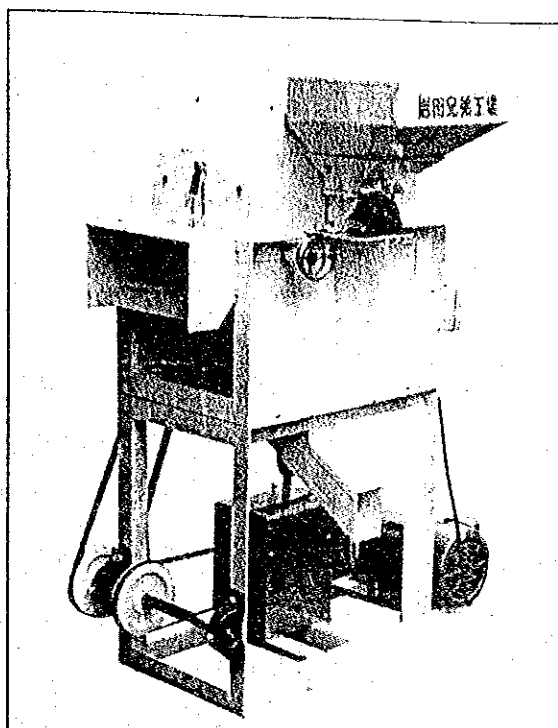
機械処理、熱湯処理とも、プランターを使用した発芽試験では播種後10日目で発芽はほぼ完了し、発芽率は機械処理約70%、熱湯処理約85%を示した。

b. *Acacia auriculiformis*

プランターを使用した発芽試験では播種後10日目の発芽率は機械処理約75%で発芽がほぼ完了したのに対し、熱処理では10日目の発芽率約15%、30日目に約75%で発芽がほぼ完了した。

c. 機械による発芽処理方法は、2,500rpmで1回、2,200rpmで2回、2,000rpmで2回の3方法を各1時間行ったが、3者の発芽率はあまり差が認められなかった。

d. 機械の処理能力は200~300kg/時間である。



外形寸法：805(縦) × 575(横) × 1055(高)mm
モーター：750W(200V)
無段変速機付き
能 率：100~200kg/hr. (approx)

写真Ⅲ-1 岩田式小型(MF)蕎麦皮剥機

2. 種子の加工

種子をコーティングする目的は種子の重みづけ、食害忌避、菌害防止、発芽促進、造粒成形、散布種子の確認のため等である。林業用種子への応用はカナダやアメリカでマツ類などで実施しているが種子のコーティング加工は必要に応じて行うものである。

2-1 コーティング材料

コーティングの特徴の一つは、目的に応じて有効な成分を層状に、またコーティング基材の各種の粉体や糊材と混合して添加できることである。

コートタイプには①クラックタイプ、②崩壊タイプ、③膨張タイプの3タイプがあるが、これらはコート層の処理の方法によって、コーティング種子が吸水して発芽する際のコートの変化によるタイプ分けである。

どのタイプに加工するかは、種子の発芽特性、散布対象地域の自然条件によって選択する。

コーティングの使用目的による成分の主なものは以下のとおりである。

- a. 初期成長の増進；肥料、微量元素、植物成長物質、共生菌

- b. 苗立枯れ防止；リゾクトニア(Rhizoctonia spp.)菌、ピシウム(Pythium spp.)菌等の殺菌剤
- c. 虫害防止；有機リン剤、カーバメート剤、ピレスロイト(Pyrethroid)剤等の殺虫剤
- d. 鳥獣の食害防止；チウラム(Thiram)剤、着色剤
- e. 発芽向上；植物成長物質、保水剤

2-2 コーティング加工

種子のコート加工に当たっては、技術的には以下の点に留意する必要がある。

- ① コート倍率（無コート種子に対するコート種子の重量倍率）が小さい場合は、コート層が薄くなり、薄すぎると輸送中や播種作業中に割れることがある。
- ② コート層の厚みが十分であってもコーティング技術が悪いとコート層の圧縮強度や耐摩耗性が小さくなる。
- ③ コート層が厚くなる程また硬くなる程、発芽は悪くなる傾向にある。
- ④ いずれのコート種子も1粒に1種が包蔵されていることはもちろん、播種に際しての作業能率に支障をきたさないことが重要である。このためには表面が滑らかで全体に丸味のある形状ないしはラグビーボール状に成型され、粒径のバラツキが少なく一定範囲に収まるようにコーティング加工をする。

表Ⅲ-9にはコーティングの基本規格の例を示した。

表Ⅲ-9 S式コート種子の基本規格

規 格	サイズ	SS	S	L	LL	LLL
	単位					
寸 法	mm	1.5~2.0	2.0~3.0	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~6.0
圧縮強度	g/粒	200~300	200~300	300~500	400~600	400~600
概略粒数	千粒/ℓ	210	55	28	18	9

2-3 コーティング種子の貯蔵

農業用コート種子の貯蔵試験では、コート種子と無コート種子の発芽率はほぼ同じレベルに達している。

4樹種 (Acacia mangium, Acacia auriculiformis, Pinus radiata, Eucalyptus globulus, Leucaena leucocephala) のコート種子貯蔵試験の結果は以下のとおりであり、高湿