

無機化学Ⅰ

後期 木曜日2限目 10時半～12時

301号室

理学研究科 化学専攻
固体物性化学分科

北川 宏

IUPAC Periodic Table of the Elements

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H hydrogen 1.007 94(7)																	2 He helium 4.002 602(2)
3 Li lithium 6.941(2)	4 Be beryllium 9.012 182(3)											5 B boron 10.811(7)	6 C carbon 12.0107(8)	7 N nitrogen 14.0067(2)	8 O oxygen 15.9994(3)	9 F fluorine 18.998 4032(5)	10 Ne neon 20.1797(6)
11 Na sodium 22.989 770(2)	12 Mg magnesium 24.3050(6)											13 Al aluminium 26.981 538(2)	14 Si silicon 28.0855(3)	15 P phosphorus 30.973 761(2)	16 S sulfur 32.065(5)	17 Cl chlorine 35.453(2)	18 Ar argon 39.948(1)
19 K potassium 39.0983(1)	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.955 910(8)	22 Ti titanium 47.867(1)	23 V vanadium 50.9415(1)	24 Cr chromium 51.9961(6)	25 Mn manganese 54.938 049(9)	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933 200(9)	28 Ni nickel 58.6934(2)	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.409(4)	31 Ga gallium 69.723(1)	32 Ge germanium 72.64(1)	33 As arsenic 74.921 60(2)	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine 79.904(1)	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.4678(3)	38 Sr strontium 87.62(1)	39 Y yttrium 88.905 85(2)	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906 38(2)	42 Mo molybdenum 95.94(2)	43 Tc technetium [97.9072]	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.905 50(2)	46 Pd palladium 106.42(1)	47 Ag silver 107.8682(2)	48 Cd cadmium 112.411(8)	49 In indium 114.818(3)	50 Sn tin 118.710(7)	51 Sb antimony 121.760(1)	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.904 47(3)	54 Xe xenon 131.293(6)
55 Cs caesium 132.905 45(2)	56 Ba barium 137.327(7)	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.9479(1)	74 W tungsten 183.84(1)	75 Re rhenium 186.207(1)	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.217(3)	78 Pt platinum 195.078(2)	79 Au gold 196.966 55(2)	80 Hg mercury 200.59(2)	81 Tl thallium 204.3833(2)	82 Pb lead 207.2(1)	83 Bi bismuth 208.980 38(2)	84 Po polonium [208.9824]	85 At astatine [209.9871]	86 Rn radon [222.0176]
87 Fr francium [223.0197]	88 Ra radium [226.0254]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261.1088]	105 Db dubnium [262.1141]	106 Sg seaborgium [266.1219]	107 Bh bohrium [264.12]	108 Hs hassium [277]	109 Mt meitnerium [268.1388]	110 Ds darmstadtium [269]	111 Uuu unununium [272]	112 Uub ununbium [285]	114 Uuq ununquadium [289]		116 Uuh ununhexium [289]			
			57 La lanthanum 138.9055(2)	58 Ce cerium 140.116(1)	59 Pr praseodymium 140.907 65(2)	60 Nd neodymium 144.24(3)	61 Pm promethium [144.9127]	62 Sm samarium 150.36(3)	63 Eu europium 151.964(1)	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.925 34(2)	66 Dy dysprosium 162.500(1)	67 Ho holmium 164.930 32(2)	68 Er erbium 167.259(3)	69 Tm thulium 168.934 21(2)	70 Yb ytterbium 173.04(3)	71 Lu lutetium 174.967(1)
			89 Ac actinium [227.0277]	90 Th thorium 232.0381(1)	91 Pa protactinium 231.035 86(2)	92 U uranium 238.028 91(3)	93 Np neptunium [237.0482]	94 Pu plutonium [244.0642]	95 Am americium [243.0614]	96 Cm curium [247.0704]	97 Bk berkelium [247.0703]	98 Cf californium [251.0796]	99 Es einsteinium [252.0830]	100 Fm fermium [257.0951]	101 Md mendelevium [258.0984]	102 No nobelium [259.1010]	103 Lr lawrencium [262.1097]

Notes

- IUPAC alternative names or spelling exist for the elements aluminium (aluminum) and caesium (cesium) and, in special circumstances, sodium (natrium), potassium (kalium), iron (ferrum), copper (cuprum), silver (argentum), tin (stannum), antimony (stibium), tungsten (wolfram), gold (aurum), mercury (hydrargyrum), and lead (plumbum).
- Relative atomic masses ('atomic weights') of elements with no IUPAC assigned standard values are listed between square brackets. IUPAC 2001 standard values are given for other elements, with uncertainties in the last figure in parentheses [R. Loss, Pure Appl. Chem. 75, 1107-1122 (2003)].
- Element with atomic number 111 has not yet been named. The IUPAC provisional name is shown.
- Claims for the existence of elements with atomic numbers 112, 114, and 116 have not been recognized by IUPAC as of August 2003.

テクネチウム : Tc

Pure metals at Sigma-Aldrich

visit sigma-aldrich.com/metals for details

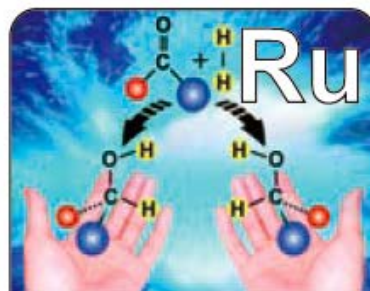
H																	He		
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac	104	105	106														

Pure metals at Sigma-Aldrich

visit sigma-aldrich.com/metals for details

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

白金族 (PGM) と呼ばれる 希少で貴重な元素群



水素化触媒, 炭素骨格変換触媒
ハードディスクの記憶量の増大
電子回路接点, 抵抗器, ペン先
食塩水電解用の電極 (塩素の製造)

ルテニウム 101.1
44 Ruthenium



自動車の排ガスをきれいに
する触媒 (NOxを減らす)
水素化触媒, 酢酸の合成触媒
銀装飾品の表面メッキ

ロジウム 102.9
45 Rhodium



水素化, アセトアルデヒド合成や
クロスカップリング触媒
900倍の体積の水素を吸蔵
自動車の排ガスをきれいにする触媒

パラジウム 106.4
46 Palladium



万年筆のペン先 (RuやIrとの合金)
四酸化オスミウムOsO₄は酸化
剤, 酸化触媒, 生物組織固定剤
いん石の年代測定 (Re-Os法)

オスミウム 190.2
76 Osmium



昔のメータル原器はPt-Ir合金
最も変質しにくい金属
恐竜絶滅の原因とされる巨大隕石の
地球衝突時に異常濃縮された元素

イリジウム 192.2
77 Iridium



キログラム原器 (Pt-Ir合金)
アクセサリや硬貨の材料
燃料電池の水素交換膜用電極材
抗がん剤 (シスプラチン)

白金 195.1
78 Platinum

18 He Helium

7 Li Lithium

Na Sodium

4 K Potassium

5 Rb Rubidium

6 Cs Cesium

7 Fr Francium

19 Au Gold

20 Hg Mercury

21 Tl Thallium

22 Pb Lead

23 Bi Bismuth

24 Po Polonium

25 At Astatine

26 Rn Radon

27 Ac Actinium

28 Th Thorium

29 Pa Protactinium

30 U Uranium

31 Np Neptunium

32 Pu Plutonium

33 Am Americium

34 Cm Curium

35 Bk Berkelium

36 Cf Californium

37 Es Einsteinium

38 Fm Fermium

39 Md Mendelevium

40 No Nihonium

41 Nh Nihonium

42 Fl Flerovium

43 Lv Livermorium

44 Ts Tennessine

45 Og Oganesson

46 Lv Livermorium

47 Ts Tennessine

48 Og Oganesson

49 Lv Livermorium

50 Ts Tennessine

51 Og Oganesson

52 Lv Livermorium

53 Ts Tennessine

54 Og Oganesson

55 Lv Livermorium

56 Ts Tennessine

57 Og Oganesson

58 Lv Livermorium

59 Ts Tennessine

60 Og Oganesson

61 Lv Livermorium

62 Ts Tennessine

63 Og Oganesson

64 Lv Livermorium

65 Ts Tennessine

66 Og Oganesson

67 Lv Livermorium

68 Ts Tennessine

69 Og Oganesson

70 Lv Livermorium

71 Ts Tennessine

72 Og Oganesson

73 Lv Livermorium

74 Ts Tennessine

75 Og Oganesson

76 Lv Livermorium

77 Ts Tennessine

78 Og Oganesson

79 Lv Livermorium

80 Ts Tennessine

81 Og Oganesson

82 Lv Livermorium

83 Ts Tennessine

84 Og Oganesson

85 Lv Livermorium

86 Ts Tennessine

87 Og Oganesson

88 Lv Livermorium

89 Ts Tennessine

90 Og Oganesson

91 Lv Livermorium

92 Ts Tennessine

93 Og Oganesson

94 Lv Livermorium

95 Ts Tennessine

96 Og Oganesson

97 Lv Livermorium

98 Ts Tennessine

99 Og Oganesson

100 Lv Livermorium

101 Ts Tennessine

102 Og Oganesson

103 Lv Livermorium

104 Ts Tennessine

105 Og Oganesson

106 Lv Livermorium

107 Ts Tennessine

108 Og Oganesson

109 Lv Livermorium

110 Ts Tennessine

111 Og Oganesson

112 Lv Livermorium

113 Ts Tennessine

114 Og Oganesson

115 Lv Livermorium

116 Ts Tennessine

117 Og Oganesson

118 Lv Livermorium

119 Ts Tennessine

120 Og Oganesson

121 Lv Livermorium

122 Ts Tennessine

123 Og Oganesson

124 Lv Livermorium

125 Ts Tennessine

126 Og Oganesson

127 Lv Livermorium

128 Ts Tennessine

129 Og Oganesson

130 Lv Livermorium

131 Ts Tennessine

132 Og Oganesson

133 Lv Livermorium

134 Ts Tennessine

135 Og Oganesson

136 Lv Livermorium

137 Ts Tennessine

138 Og Oganesson

139 Lv Livermorium

140 Ts Tennessine

141 Og Oganesson

142 Lv Livermorium

143 Ts Tennessine

144 Og Oganesson

145 Lv Livermorium

146 Ts Tennessine

147 Og Oganesson

148 Lv Livermorium

149 Ts Tennessine

150 Og Oganesson

151 Lv Livermorium

152 Ts Tennessine

153 Og Oganesson

154 Lv Livermorium

155 Ts Tennessine

156 Og Oganesson

157 Lv Livermorium

158 Ts Tennessine

159 Og Oganesson

160 Lv Livermorium

161 Ts Tennessine

162 Og Oganesson

163 Lv Livermorium

164 Ts Tennessine

165 Og Oganesson

166 Lv Livermorium

167 Ts Tennessine

168 Og Oganesson

169 Lv Livermorium

170 Ts Tennessine

171 Og Oganesson

172 Lv Livermorium

173 Ts Tennessine

174 Og Oganesson

175 Lv Livermorium

176 Ts Tennessine

177 Og Oganesson

178 Lv Livermorium

179 Ts Tennessine

180 Og Oganesson

181 Lv Livermorium

182 Ts Tennessine

183 Og Oganesson

184 Lv Livermorium

185 Ts Tennessine

186 Og Oganesson

187 Lv Livermorium

188 Ts Tennessine

189 Og Oganesson

190 Lv Livermorium

191 Ts Tennessine

192 Og Oganesson

193 Lv Livermorium

194 Ts Tennessine

195 Og Oganesson

196 Lv Livermorium

197 Ts Tennessine

198 Og Oganesson

199 Lv Livermorium

200 Ts Tennessine

201 Og Oganesson

202 Lv Livermorium

203 Ts Tennessine

204 Og Oganesson

205 Lv Livermorium

206 Ts Tennessine

207 Og Oganesson

208 Lv Livermorium

209 Ts Tennessine

210 Og Oganesson

211 Lv Livermorium

212 Ts Tennessine

213 Og Oganesson

214 Lv Livermorium

215 Ts Tennessine

216 Og Oganesson

217 Lv Livermorium

218 Ts Tennessine

219 Og Oganesson

220 Lv Livermorium

221 Ts Tennessine

222 Og Oganesson

223 Lv Livermorium

224 Ts Tennessine

225 Og Oganesson

226 Lv Livermorium

227 Ts Tennessine

228 Og Oganesson

229 Lv Livermorium

230 Ts Tennessine

231 Og Oganesson

232 Lv Livermorium

233 Ts Tennessine

234 Og Oganesson

235 Lv Livermorium

236 Ts Tennessine

237 Og Oganesson

238 Lv Livermorium

239 Ts Tennessine

240 Og Oganesson

241 Lv Livermorium

242 Ts Tennessine

243 Og Oganesson

244 Lv Livermorium

245 Ts Tennessine

246 Og Oganesson

247 Lv Livermorium

248 Ts Tennessine

249 Og Oganesson

250 Lv Livermorium

251 Ts Tennessine

252 Og Oganesson

253 Lv Livermorium

254 Ts Tennessine

255 Og Oganesson

256 Lv Livermorium

257 Ts Tennessine

258 Og Oganesson

259 Lv Livermorium

260 Ts Tennessine

261 Og Oganesson

262 Lv Livermorium

263 Ts Tennessine

264 Og Oganesson

265 Lv Livermorium

266 Ts Tennessine

267 Og Oganesson

268 Lv Livermorium

269 Ts Tennessine

270 Og Oganesson

271 Lv Livermorium

272 Ts Tennessine

273 Og Oganesson

274 Lv Livermorium

275 Ts Tennessine

276 Og Oganesson

277 Lv Livermorium

278 Ts Tennessine

279 Og Oganesson

280 Lv Livermorium

281 Ts Tennessine

282 Og Oganesson

283 Lv Livermorium

284 Ts Tennessine

285 Og Oganesson

286 Lv Livermorium

287 Ts Tennessine

288 Og Oganesson

289 Lv Livermorium

290 Ts Tennessine

291 Og Oganesson

292 Lv Livermorium

293 Ts Tennessine

294 Og Oganesson

295 Lv Livermorium

296 Ts Tennessine

297 Og Oganesson

298 Lv Livermorium

299 Ts Tennessine

300 Og Oganesson

301 Lv Livermorium

302 Ts Tennessine

303 Og Oganesson

304 Lv Livermorium

305 Ts Tennessine

306 Og Oganesson

307 Lv Livermorium

308 Ts Tennessine

309 Og Oganesson

310 Lv Livermorium

311 Ts Tennessine

312 Og Oganesson

313 Lv Livermorium

314 Ts Tennessine

315 Og Oganesson

316 Lv Livermorium

317 Ts Tennessine

318 Og Oganesson

319 Lv Livermorium

320 Ts Tennessine

321 Og Oganesson

322 Lv Livermorium

323 Ts Tennessine

324 Og Oganesson

325 Lv Livermorium

326 Ts Tennessine

327 Og Oganesson

328 Lv Livermorium

329 Ts Tennessine

330 Og Oganesson

331 Lv Livermorium

332 Ts Tennessine

333 Og Oganesson

334 Lv Livermorium

335 Ts Tennessine

336 Og Oganesson

337 Lv Livermorium

338 Ts Tennessine

339 Og Oganesson

340 Lv Livermorium

341 Ts Tennessine

342 Og Oganesson

343 Lv Livermorium

344 Ts Tennessine

345 Og Oganesson

346 Lv Livermorium

347 Ts Tennessine

348 Og Oganesson

349 Lv Livermorium

350 Ts Tennessine

351 Og Oganesson

352 Lv Livermorium

353 Ts Tennessine

354 Og Oganesson

355 Lv Livermorium

356 Ts Tennessine

357 Og Oganesson

358 Lv Livermorium

359 Ts Tennessine

360 Og Oganesson

361 Lv Livermorium

362 Ts Tennessine

363 Og Oganesson

364 Lv Livermorium

365 Ts Tennessine

366 Og Oganesson

367 Lv Livermorium

368 Ts Tennessine

369 Og Oganesson

370 Lv Livermorium

371 Ts Tennessine

372 Og Oganesson

373 Lv Livermorium

374 Ts Tennessine

375 Og Oganesson

376 Lv Livermorium

377 Ts Tennessine

378 Og Oganesson

379 Lv Livermorium

380 Ts Tennessine

381 Og Oganesson

382 Lv Livermorium

383 Ts Tennessine

384 Og Oganesson

385 Lv Livermorium

386 Ts Tennessine

387 Og Oganesson

388 Lv Livermorium

389 Ts Tennessine

390 Og Oganesson

391 Lv Livermorium

392 Ts Tennessine

393 Og Oganesson

394 Lv Livermorium

395 Ts Tennessine

396 Og Oganesson

397 Lv Livermorium

398 Ts Tennessine

399 Og Oganesson

400 Lv Livermorium

401 Ts Tennessine

402 Og Oganesson

403 Lv Livermorium

404 Ts Tennessine

405 Og Oganesson

406 Lv Livermorium

407 Ts Tennessine

408 Og Oganesson

409 Lv Livermorium

410 Ts Tennessine

411 Og Oganesson

412 Lv Livermorium

413 Ts Tennessine

414 Og Oganesson

415 Lv Livermorium

416 Ts Tennessine

417 Og Oganesson

418 Lv Livermorium

419 Ts Tennessine

420 Og Oganesson

421 Lv Livermorium

422 Ts Tennessine

423 Og Oganesson

424 Lv Livermorium

425 Ts Tennessine

426 Og Oganesson

427 Lv Livermorium

428 Ts Tennessine

429 Og Oganesson

430 Lv Livermorium

431 Ts Tennessine

432 Og Oganesson

433 Lv Livermorium

434 Ts Tennessine

435 Og Oganesson

436 Lv Livermorium

437 Ts Tennessine

438 Og Oganesson

439 Lv Livermorium

440 Ts Tennessine

441 Og Oganesson

442 Lv Livermorium

443 Ts Tennessine

444 Og Oganesson

445 Lv Livermorium

446 Ts Tennessine

447 Og Oganesson

448 Lv Livermorium

449 Ts Tennessine

450 Og Oganesson

451 Lv Livermorium

452 Ts Tennessine

453 Og Oganesson

454 Lv Livermorium

455 Ts Tennessine

456 Og Oganesson

457 Lv Livermorium

458 Ts Tennessine

459 Og Oganesson

460 Lv Livermorium

461 Ts Tennessine

462 Og Oganesson

463 Lv Livermorium

464 Ts Tennessine

465 Og Oganesson

466 Lv Livermorium

467 Ts Tennessine

468 Og Oganesson

469 Lv Livermorium

470 Ts Tennessine

471 Og Oganesson

472 Lv Livermorium

473 Ts Tennessine

474 Og Oganesson

475 Lv Livermorium

476 Ts Tennessine

477 Og Oganesson

478 Lv Livermorium

479 Ts Tennessine

480 Og Oganesson

481 Lv Livermorium

482 Ts Tennessine

483 Og Oganesson

484 Lv Livermorium

485 Ts Tennessine

486 Og Oganesson

487 Lv Livermorium

488 Ts Tennessine

489 Og Oganesson

490 Lv Livermorium

491 Ts Tennessine

492 Og Oganesson

493 Lv Livermorium

494 Ts Tennessine

495 Og Oganesson

496 Lv Livermorium

497 Ts Tennessine

498 Og Oganesson

499 Lv Livermorium

500 Ts Tennessine

501 Og Oganesson

502 Lv Livermorium

503 Ts Tennessine

504 Og Oganesson

505 Lv Livermorium

506 Ts Tennessine

507 Og Oganesson

508 Lv Livermorium

509 Ts Tennessine

510 Og Oganesson

511 Lv Livermorium

512 Ts Tennessine

513 Og Oganesson

514 Lv Livermorium

515 Ts Tennessine

516 Og Oganesson

517 Lv Livermorium

518 Ts Tennessine

519 Og Oganesson

520 Lv Livermorium

521 Ts Tennessine

522 Og Oganesson

523 Lv Livermorium

524 Ts Tennessine

525 Og Oganesson

526 Lv Livermorium

527 Ts Tennessine

528 Og Oganesson

529 Lv Livermorium

530 Ts Tennessine

531 Og Oganesson

532 Lv Livermorium

533 Ts Tennessine

534 Og Oganesson

535 Lv Livermorium

536 Ts Tennessine

537 Og Oganesson

538 Lv Livermorium

539 Ts Tennessine

540 Og Oganesson

541 Lv Livermorium

542 Ts Tennessine

543 Og Oganesson

544 Lv Livermorium

545 Ts Tennessine

546 Og Oganesson

547 Lv Livermorium

548 Ts Tennessine

549 Og Oganesson

550 Lv Livermorium

551 Ts Tennessine

552 Og Oganesson

553 Lv Livermorium

554 Ts Tennessine

555 Og Oganesson

556 Lv Livermorium

557 Ts Tennessine

558 Og Oganesson

559 Lv Livermorium

560 Ts Tennessine

561 Og Oganesson

562 Lv Livermorium

563 Ts Tennessine

564 Og Oganesson

565 Lv Livermorium

566 Ts Tennessine

567 Og Oganesson

568 Lv Livermorium

569 Ts Tennessine

570 Og Oganesson

571 Lv Livermorium

572 Ts Tennessine

573 Og Oganesson

574 Lv Livermorium

575 Ts Tennessine

576 Og Oganesson

577 Lv Livermorium

578 Ts Tennessine

579 Og Oganesson

580 Lv Livermorium

581 Ts Tennessine

582 Og Oganesson

583 Lv Livermorium

584 Ts Tennessine

585 Og Oganesson

586 Lv Livermorium

587 Ts Tennessine

588 Og Oganesson

589 Lv Livermorium

590 Ts Tennessine

591 Og Oganesson

592 Lv Livermorium

593 Ts Tennessine

594 Og Oganesson

595 Lv Livermorium

596 Ts Tennessine

597 Og Oganesson

598 Lv Livermorium

599 Ts Tennessine

600 Og Oganesson

601 Lv Livermorium

602 Ts Tennessine

603 Og Oganesson

604 Lv Livermorium

605 Ts Tennessine

606 Og Oganesson

607 Lv Livermorium

608 Ts Tennessine

609 Og Oganesson

610 Lv Livermorium

611 Ts Tennessine

612 Og Oganesson

613 Lv Livermorium

614 Ts Tennessine

615 Og Oganesson

616 Lv Livermorium

617 Ts Tennessine

618 Og Oganesson

619 Lv Livermorium

620 Ts Tennessine

621 Og Oganesson

622 Lv Livermorium

623 Ts Tennessine

624 Og Oganesson

625 Lv Livermorium

626 Ts Tennessine

627 Og Oganesson

628 Lv Livermorium

629 Ts Tennessine

630 Og Oganesson

631 Lv Livermorium

632 Ts Tennessine

633 Og Oganesson

634 Lv Livermorium

635 Ts Tennessine

636 Og Oganesson

637 Lv Livermorium

638 Ts Tennessine

639 Og Oganesson

640 Lv Livermorium

641 Ts Tennessine

642 Og Oganesson

643 Lv Livermorium

644 Ts Tennessine

645 Og Oganesson

646 Lv Livermorium

647 Ts Tennessine

648 Og Oganesson

649 Lv Livermorium

650 Ts Tennessine

651 Og Oganesson

652 Lv Livermorium

653 Ts Tennessine

654 Og Oganesson

655 Lv Livermorium

656 Ts Tennessine

657 Og Oganesson

658 Lv Livermorium

659 Ts Tennessine

660 Og Oganesson

661 Lv Livermorium

662 Ts Tennessine

663 Og Oganesson

664 Lv Livermorium

665 Ts Tennessine

666 Og Oganesson

667 Lv Livermorium

668 Ts Tennessine

669 Og Oganesson

670 Lv Livermorium

671 Ts Tennessine

672 Og Oganesson

673 Lv Livermorium

674 Ts Tennessine

675 Og Oganesson

676 Lv Livermorium

677 Ts Tennessine

678 Og Oganesson

679 Lv Livermorium

680 Ts Tennessine

681 Og Oganesson

682 Lv Livermorium

683 Ts Tennessine

684 Og Oganesson

685 Lv Livermorium

686 Ts Tennessine

687 Og Oganesson

688 Lv Livermorium

689 Ts Tennessine

690 Og Oganesson

691 Lv Livermorium

692 Ts Tennessine

693 Og Oganesson

694 Lv Livermorium

695 Ts Tennessine

696 Og Oganesson

697 Lv Livermorium

698 Ts Tennessine

699 Og Oganesson

700 Lv Livermorium

701 Ts Tennessine

702 Og Oganesson

703 Lv Livermorium

704 Ts Tennessine

705 Og Oganesson

706 Lv Livermorium

707 Ts Tennessine

708 Og Oganesson

709 Lv Livermorium

710 Ts Tennessine

711 Og Oganesson

712 Lv Livermorium

713 Ts Tennessine

714 Og Oganesson

715 Lv Livermorium

716 Ts Tennessine

717 Og Oganesson

718 Lv Livermorium

719 Ts Tennessine

720 Og Oganesson

721 Lv Livermorium

722 Ts Tennessine

723 Og Oganesson

724 Lv Livermorium

725 Ts Tennessine

726 Og Oganesson

727 Lv Livermorium

728 Ts Tennessine

729 Og Oganesson

730 Lv Livermorium

731 Ts Tennessine

732 Og Oganesson

733 Lv Livermorium

734 Ts Tennessine

735 Og Oganesson

736 Lv Livermorium

737 Ts Tennessine

738 Og Oganesson

739 Lv Livermorium

740 Ts Tennessine

741 Og Oganesson

742 Lv Livermorium

743 Ts Tennessine

744 Og Oganesson

745 Lv Livermorium

746 Ts Tennessine

747 Og Oganesson

748 Lv Livermorium

749 Ts Tennessine

750 Og Oganesson

751 Lv Livermorium

752 Ts Tennessine

753 Og Oganesson

754 Lv Livermorium

755 Ts Tennessine

756 Og Oganesson

757 Lv Livermorium

758 Ts Tennessine

759 Og Oganesson

760 Lv Livermorium

761 Ts Tennessine

762 Og Oganesson

763 Lv Livermorium

764 Ts Tennessine

765 Og Oganesson

766 Lv Livermorium

767 Ts Tennessine

768 Og Oganesson

769 Lv Livermorium

770 Ts Tennessine

771 Og Oganesson

772 Lv Livermorium

773 Ts Tennessine

774 Og Oganesson

775 Lv Livermorium

776 Ts Tennessine

777 Og Oganesson

778 Lv Livermorium

779 Ts Tennessine

780 Og Oganesson

781 Lv Livermorium

782 Ts Tennessine

783 Og Oganesson

784 Lv Livermorium

785 Ts Tennessine

786 Og Oganesson

787 Lv Livermorium

788 Ts Tennessine

789 Og Oganesson

790 Lv Livermorium

791 Ts Tennessine

792 Og Oganesson

793 Lv Livermorium

794 Ts Tennessine

795 Og Oganesson

796 Lv Livermorium

797 Ts Tennessine

798 Og Oganesson

799 Lv Livermorium

800 Ts Tennessine

801 Og Oganesson

802 Lv Livermorium

803 Ts Tennessine

804 Og Oganesson

805 Lv Livermorium

806 Ts Tennessine

807 Og Oganesson

808 Lv Livermorium

809 Ts Tennessine

810 Og Oganesson

811 Lv Livermorium

812 Ts Tennessine

813 Og Oganesson

814 Lv Livermorium

815 Ts Tennessine

816 Og Oganesson

817 Lv Livermorium

818 Ts Tennessine

819 Og Oganesson

820 Lv Livermorium

821 Ts Tennessine

822 Og Oganesson

823 Lv Livermorium

824 Ts Tennessine

825 Og Oganesson

826 Lv Livermorium

827 Ts Tennessine

828 Og Oganesson

829 Lv Livermorium

830 Ts Tennessine

831 Og Oganesson

832 Lv Livermorium

833 Ts Tennessine

834 Og Oganesson

835 Lv Livermorium

836 Ts Tennessine

837 Og Oganesson

838 Lv Livermorium

839 Ts Tennessine

840 Og Oganesson

841 Lv Livermorium

842 Ts Tennessine

843 Og Oganesson

844 Lv Livermorium

845 Ts Tennessine

846 Og Oganesson

847 Lv Livermorium

848 Ts Tennessine

849 Og Oganesson

850 Lv Livermorium

851 Ts Tennessine

852 Og Oganesson

853 Lv Livermorium

854 Ts Tennessine

855 Og Oganesson

856 Lv Livermorium

857 Ts Tennessine

858 Og Oganesson

859 Lv Livermorium

860 Ts Tennessine

861 Og Oganesson

862 Lv Livermorium

863 Ts Tennessine

864 Og Oganesson

865 Lv Livermorium

866 Ts Tennessine

867 Og Oganesson

868 Lv Livermorium

869 Ts Tennessine

870 Og Oganesson

871 Lv Livermorium</

金属の分類

日本では、金属は、鉄、ベースメタル、貴金属、レアメタルなどに分類されている。貴金属の中で、**Pt、Pd、Rh、Ru、Ir、Os** は、**PGM (Platinum Group Metal)** と呼ばれる。

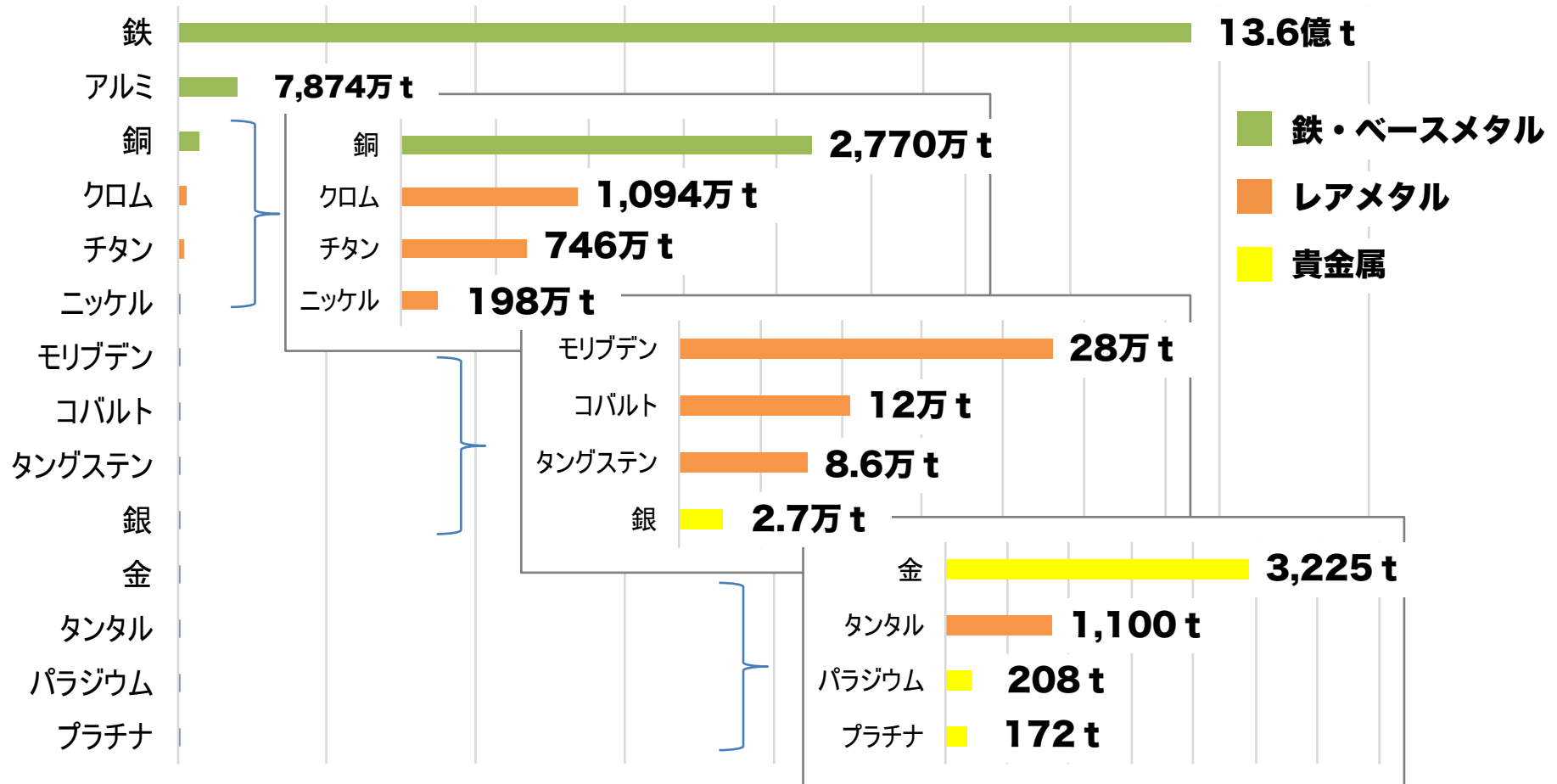
族 周期	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII		I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	O	
	アルカリ族	アルカリ土族	希土族	チタン族	バナジウム族	クロム族	マンガン族	鉄族(4周期) 白金族(5・6周期)		銅族	亜鉛族	アルミニウム族	炭素族	窒素族	酸素族	ハロゲン族	不活性ガス族	
1	1 H 水素	鉄、ベースメタル 貴金属 レアアース その他レアメタル															2 He ヘリウム	
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N チッ素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S イオウ	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテニウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89~103 アクチノイド	104 Rf ラザホーニウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボギウム	107 Bh ホーリウム	108 Hs ハッシウム	109 Mt マイタネリウム	110 Ds ダルトンスタチウム	111 Rg レントゲニウム	112 Cn コペルニシウム	113 Nh ニホニウム	114 Fl フレロビウム	115 Mc モスコビウム	116 Lv リバモリウム	117 Ts テネシン	118 Og オガネソン

	鉄、ベースメタル
	貴金属
	レアアース
	その他レアメタル

ランタノイド	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジム	60 Nd ネオジム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユウロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスマンシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットルビウム	71 Lu ルテチウム
アクチノイド	89 Ac アクチニウム	90 Th トリウム	91 Pa プロトアクチニウム	92 U ウラン	93 Np ネプツニウム	94 Pu プルトニウム	95 Am アメリシウム	96 Cm キュリウム	97 Bk バークリウム	98 Cf カリホルニウム	99 Es アインシュタインウム	100 Fm フェルミウム	101 Md メンデルビウム	102 No ノーベルリウム	103 Lr ローレンシウム

金属の生産量比較 (2016年)

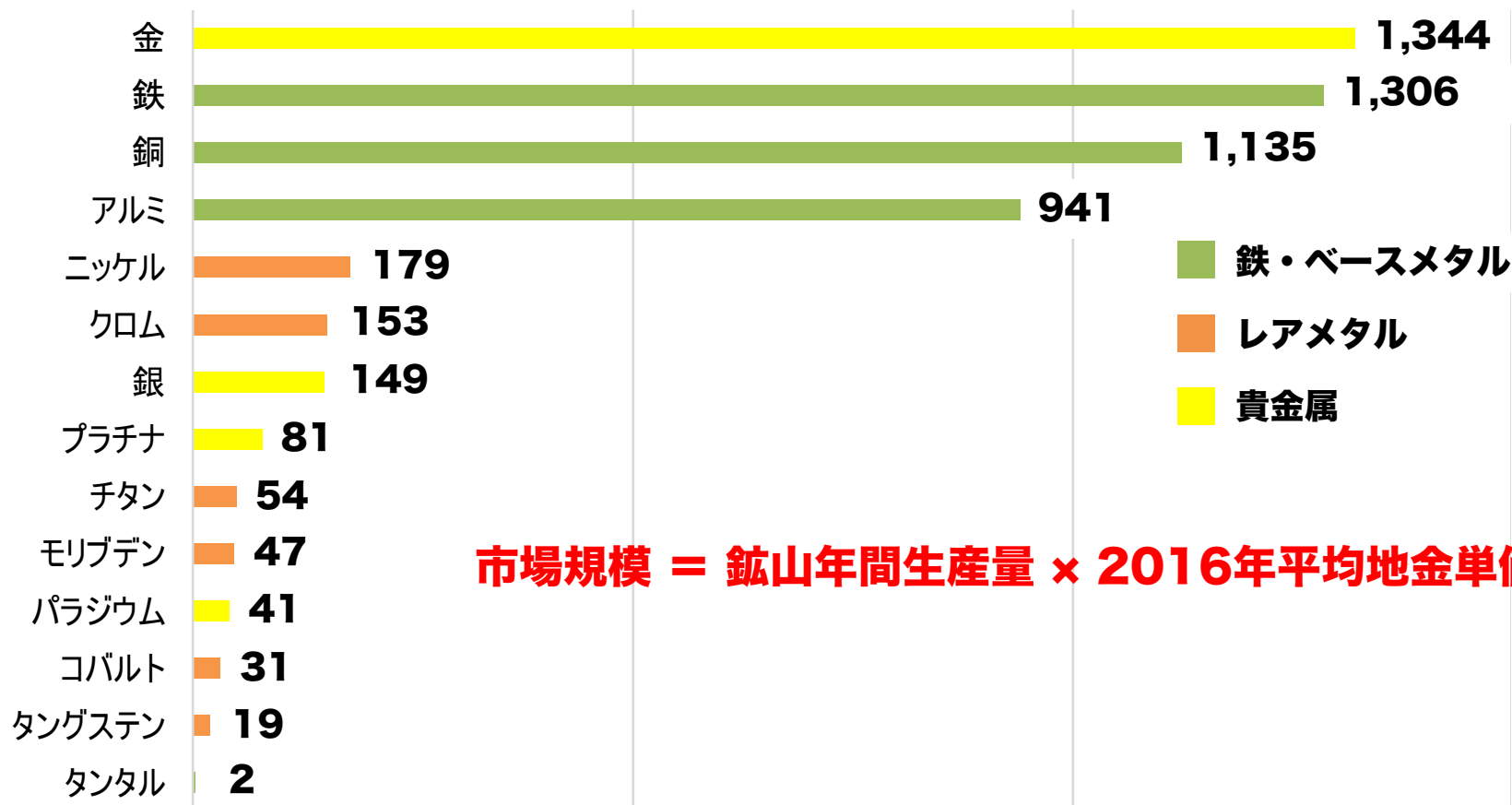
貴金属は金属の中で最も希少な金属。(レアメタルよりもレアなメタル)



金属の市場規模比較 (2016年)

PGMは地金単価が高く、市場規模ではレアメタルと同等。

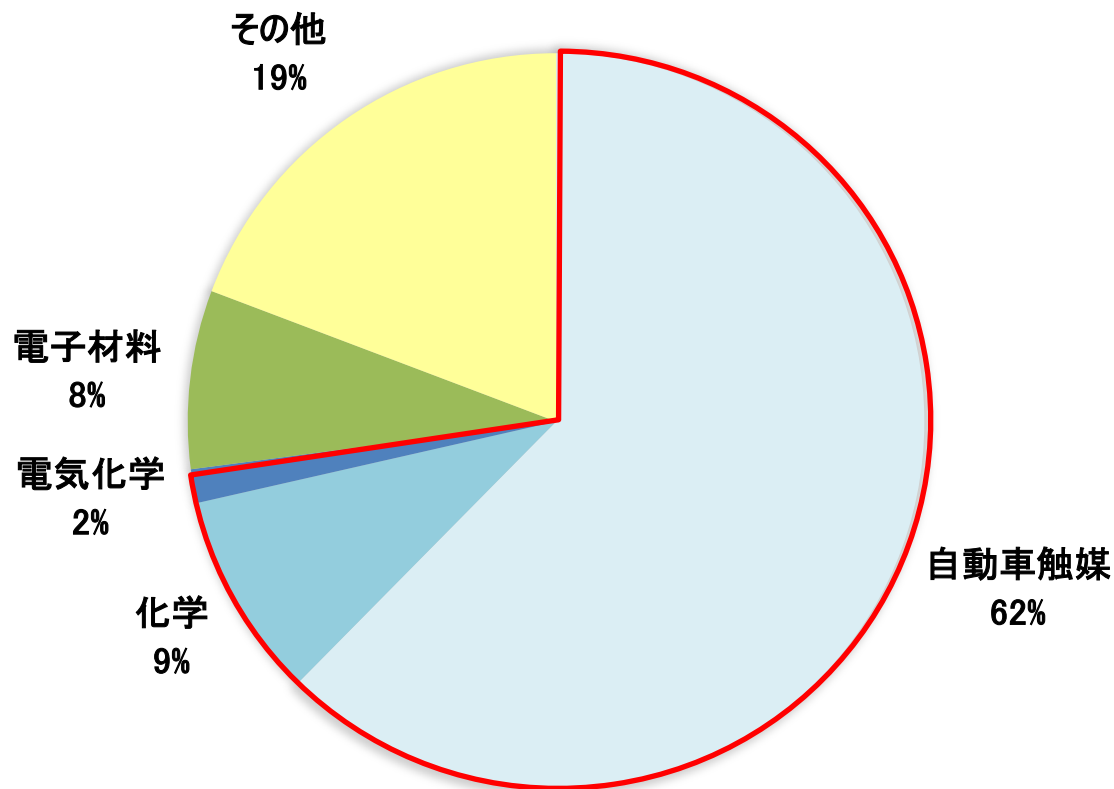
単位：億US\$



市場規模 = 鉱山年間生産量 × 2016年平均地金単価

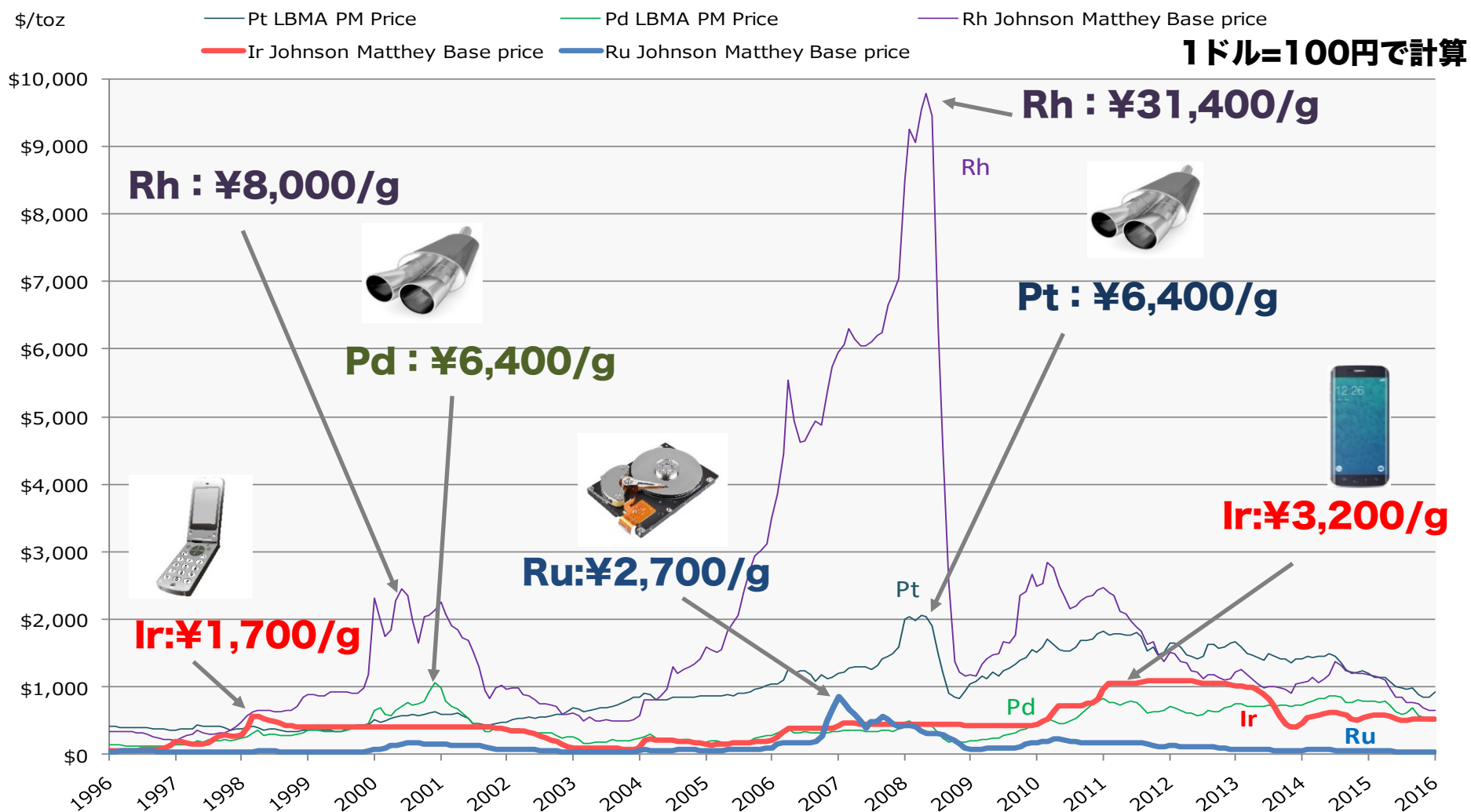
PGMの需要 (2017年)

2017年のPGM需要：
624.8 t の約73%が触媒用途で使用されている。



PGM価格の推移

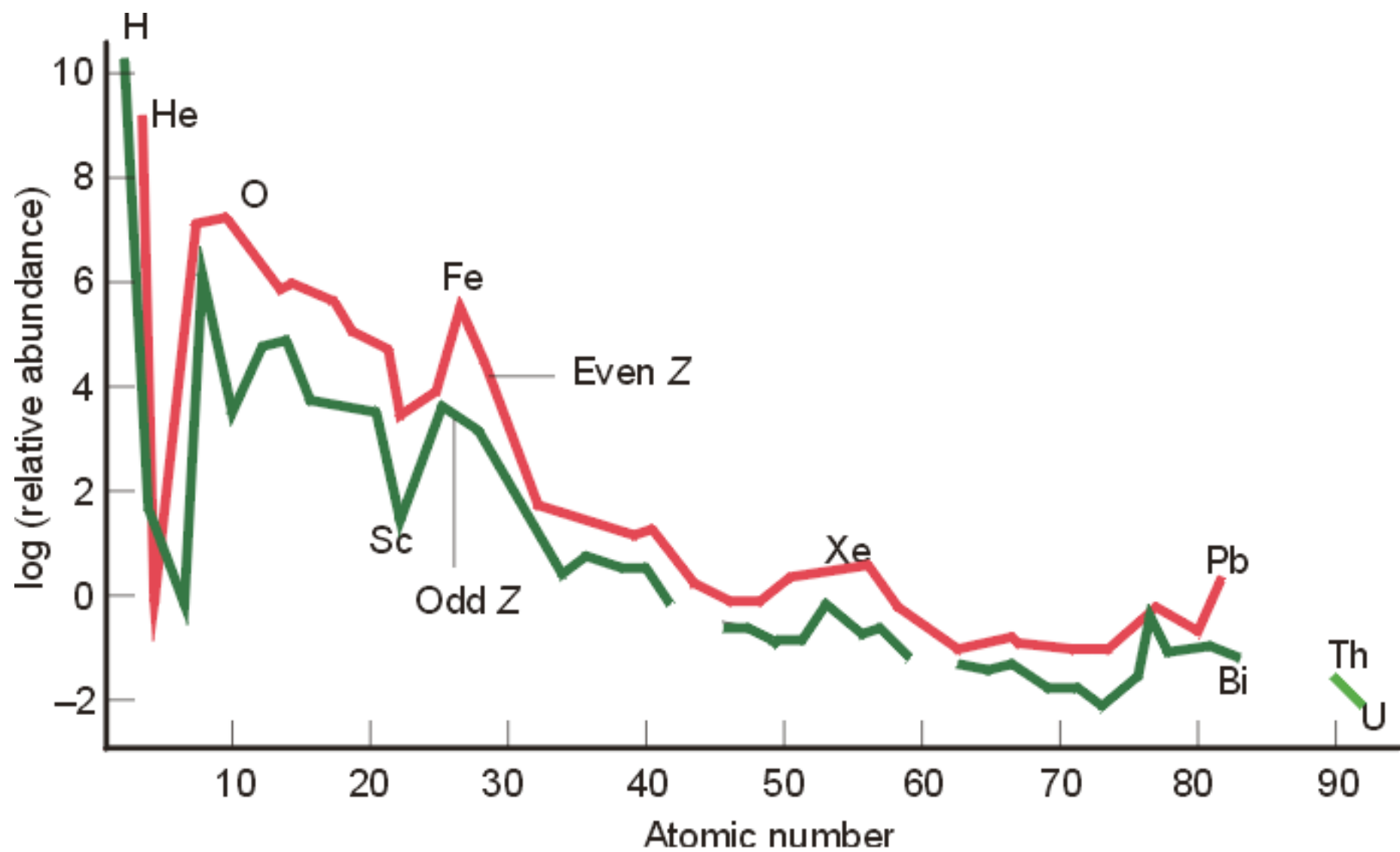
資源量が少ないことから、PGM価格は需給動向で大きく変動

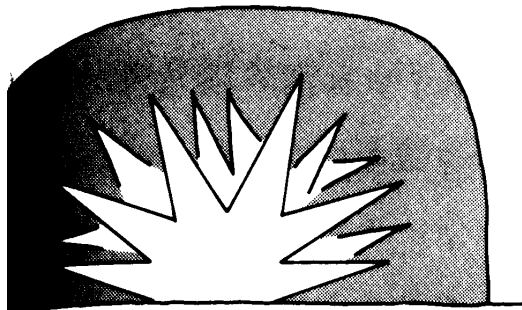


元素の種類：110

分子の種類：> 600万

クロロフィルの分子構造の決定
： フィッシャー（ドイツ）
1930年ノーベル化学賞





150億年前、1000億℃

ビッグバン

水素原子の誕生

5000℃



分子の雲ができる



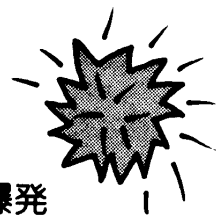
星の誕生

重い原子ができる



核融合反応

星の爆発



3000℃

大きな分子ができる

生命の誕生



ビッグバンから物質の歴史が始まる

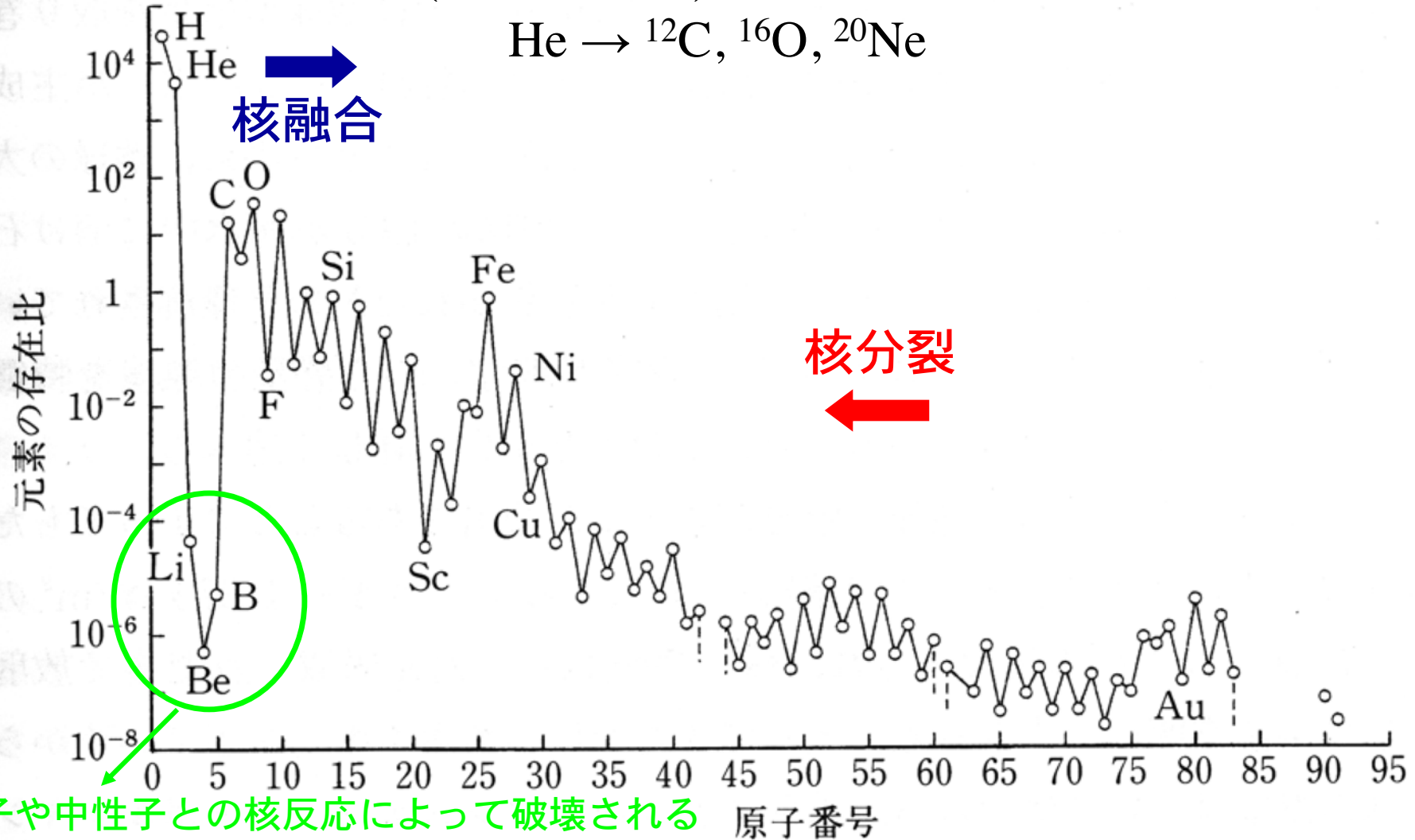
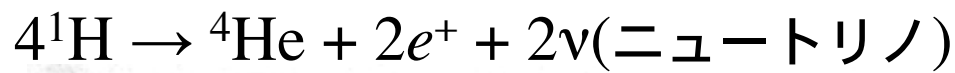
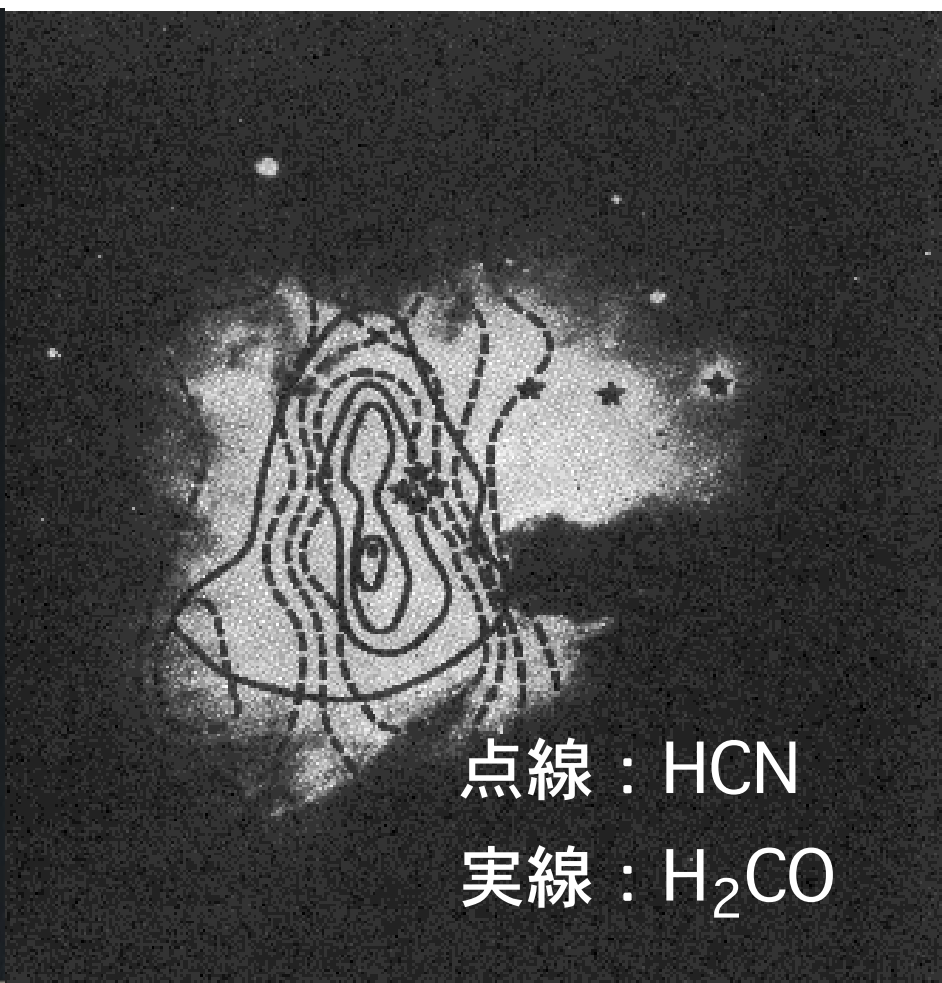


図 1.1 宇宙における元素の存在比. Si を 1 にとってある. [松井義人：地球科学 4 地球の物質科学 III (岩波書店, 1979), p. 265]



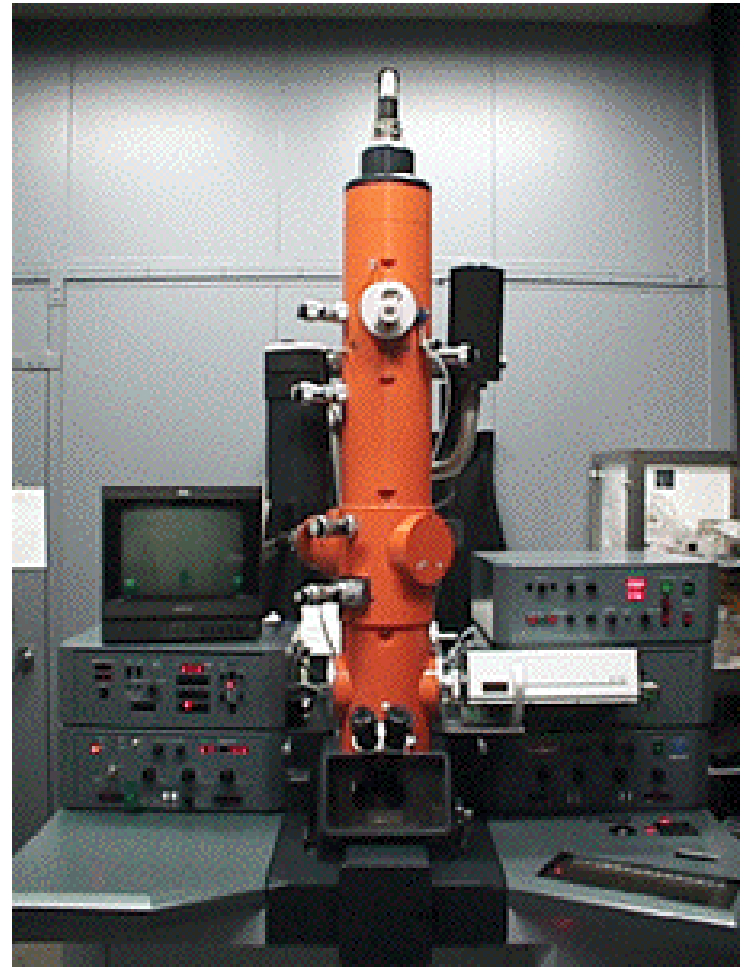
点線 : HCN

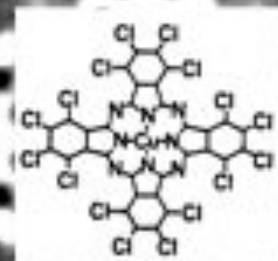
実線 : H₂CO

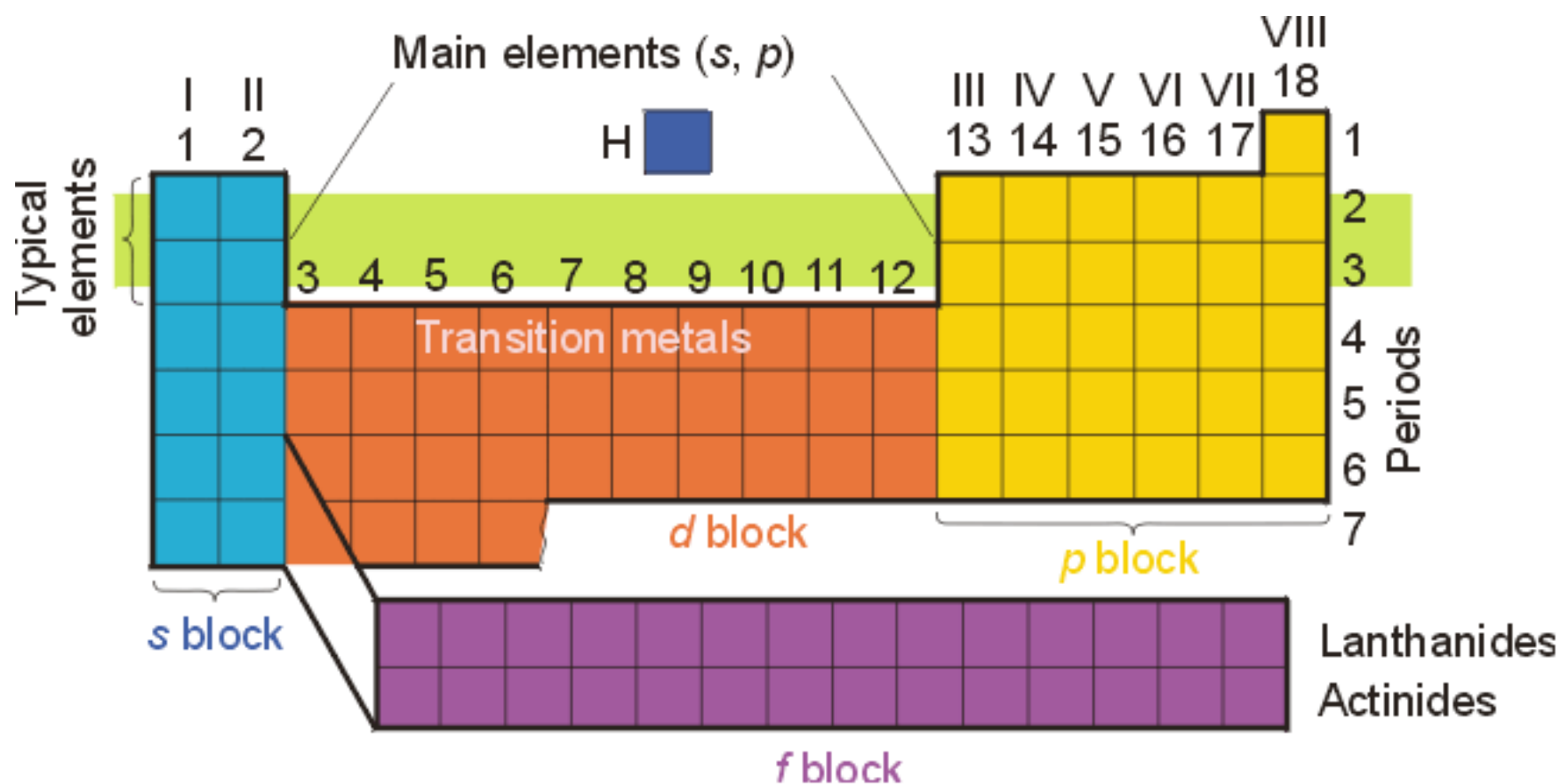
高分解能電子顕微鏡

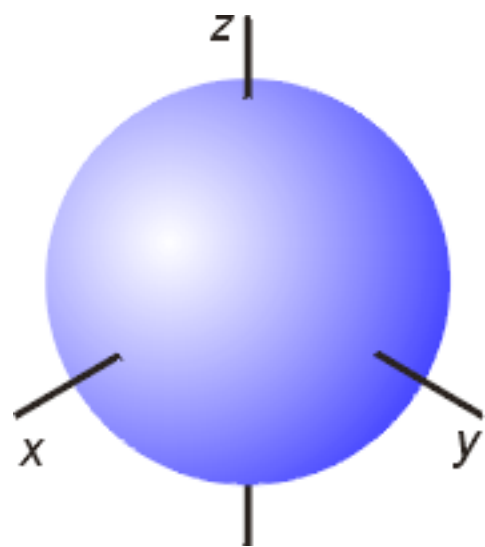
観測に用いる波長以下の
の像は見えない

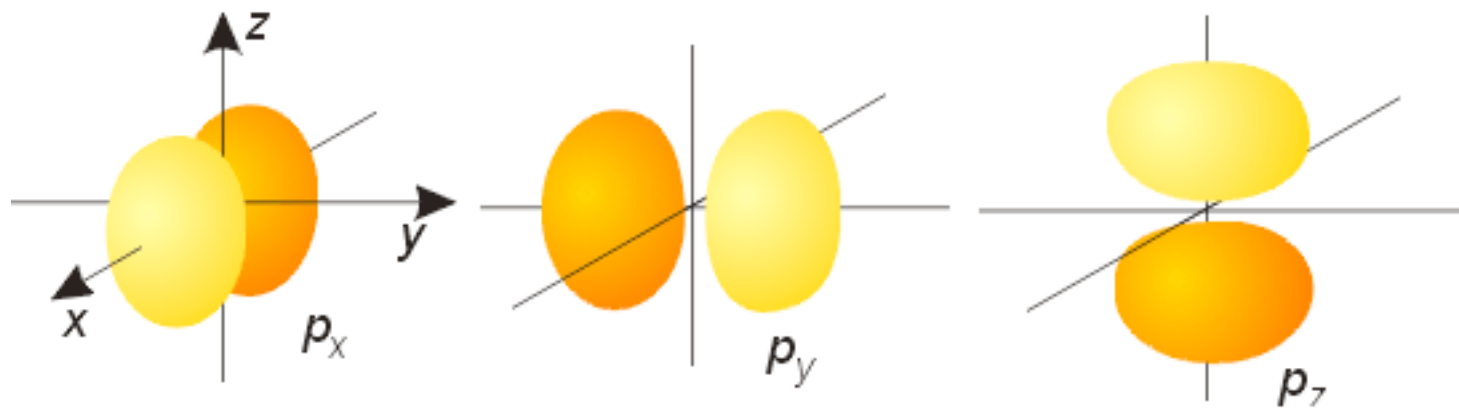
$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

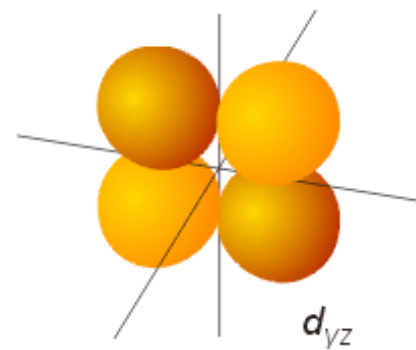
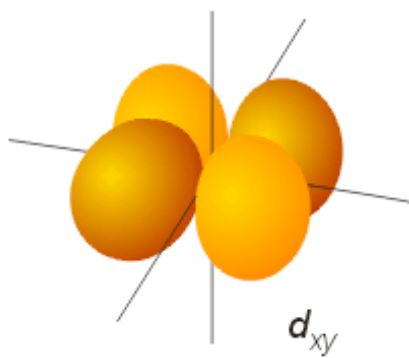
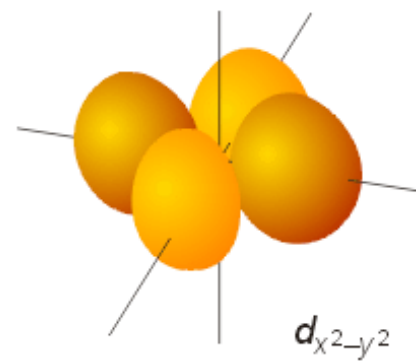
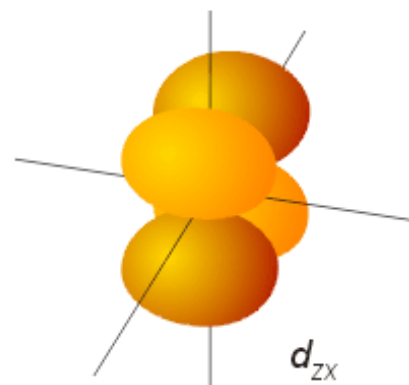
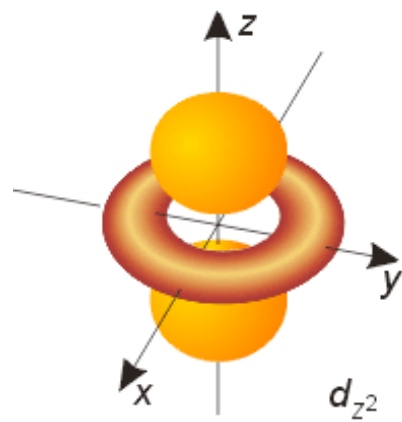




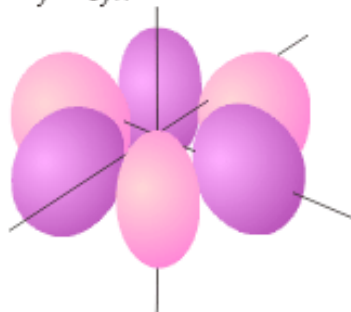




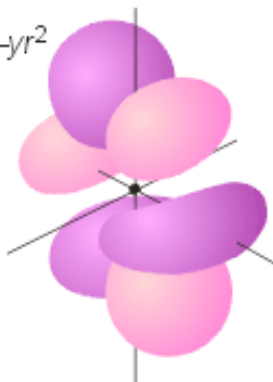




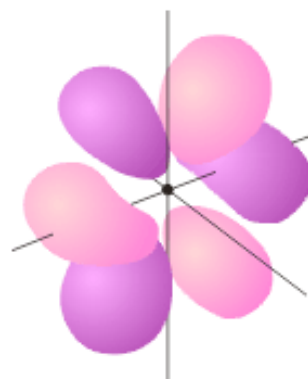
$$4f_{y^3-3yx^2}$$



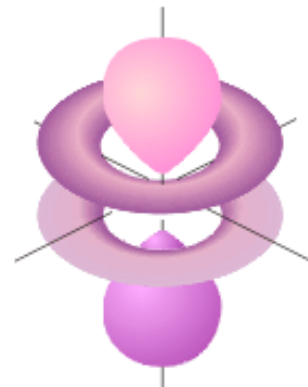
$$4f_{5yz^2-yr^2}$$



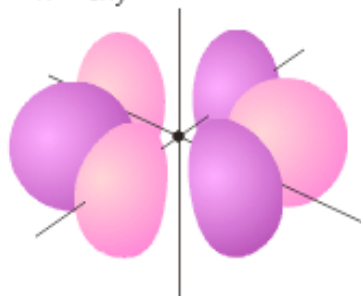
$$4f_{5xz^2-3xr^2}$$



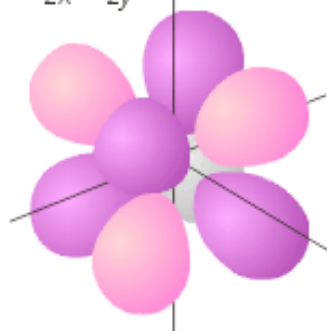
$$4f_{5z^3-3zr^2}$$



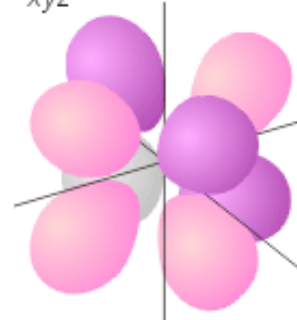
$$4f_{x^3-3xy^2}$$

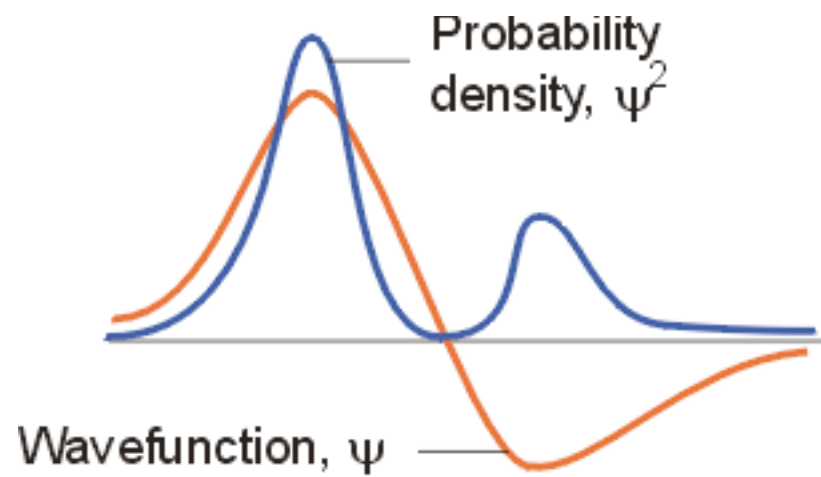


$$4f_{zx^2-zy^2}$$



$$4f_{xyz}$$





Probability
density

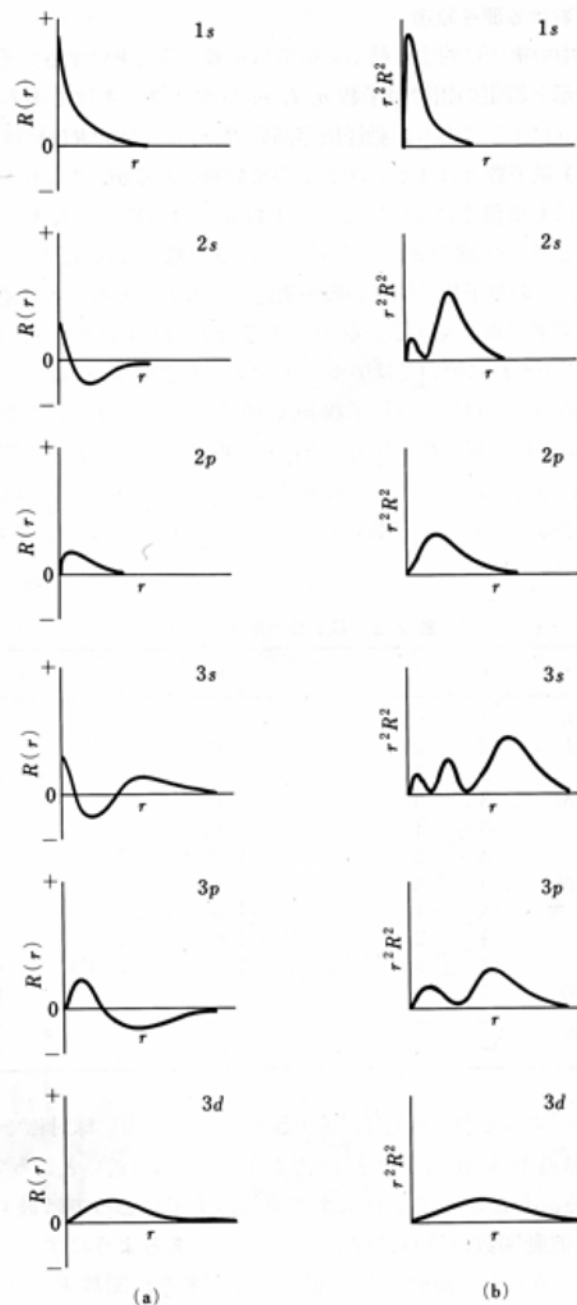


図 2-7 水素類似波動関数のプロット。(a) 原子核からの距離 r に対する動径関数 $R(r)$ 。(b) 原子核からの距離 r に対する確率密度分布関数 $r^2 R^2$ 。図によって二つの座標軸の値の範囲が違っていることに注意していただきたい。

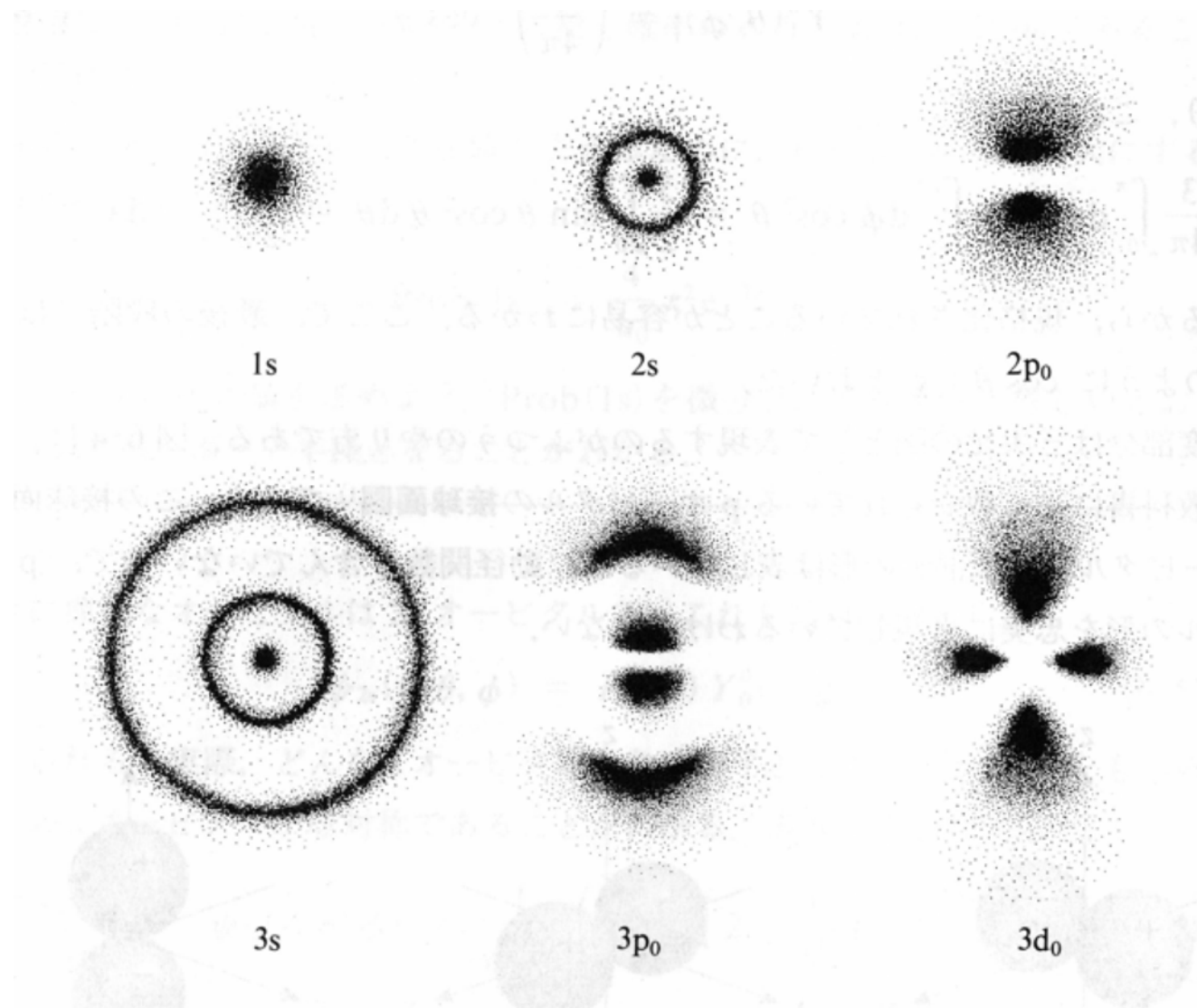
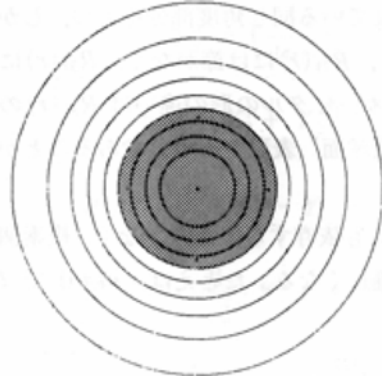
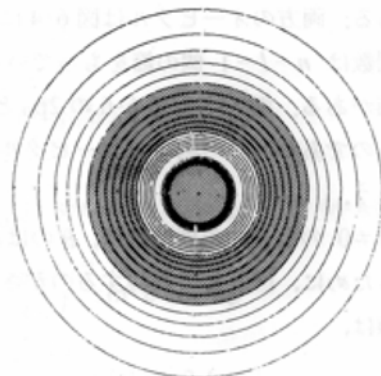


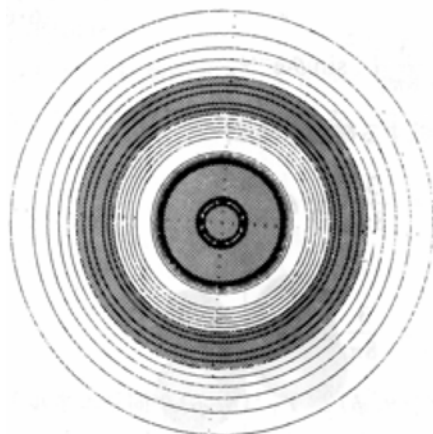
図 6・5 水素原子オービタルの確率密度プロット．点の密度がその領域に電子を見つける確率に比例する．



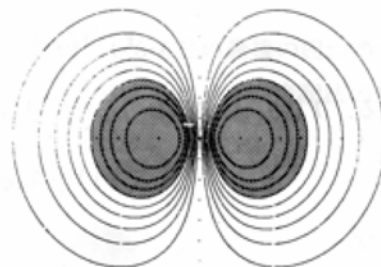
(a) 1s



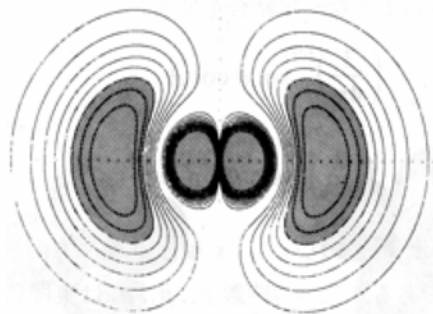
(b) 2s



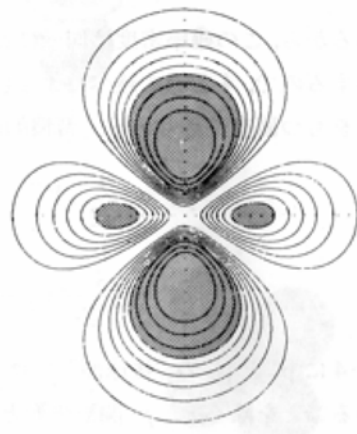
(c) 3s



(d) 2p₀



(e) 3p₀



(f) 3d₀

水素原子オービタルの確率等高線地図。おのおのの図に示した9本の等高線は、各等高線の内側に電子を見つける確率が10%, 20%, ..., 90%になるように囲っている。図のスケールは左右に並んだ小さな印で示してある。一つの印ごとに1ボーア半径 a_0 に対応する。オービタルごとにスケールが違うことに注意せよ。影をつけた領域は確率密度の高い部分で全体の40%が入る領域を示している。

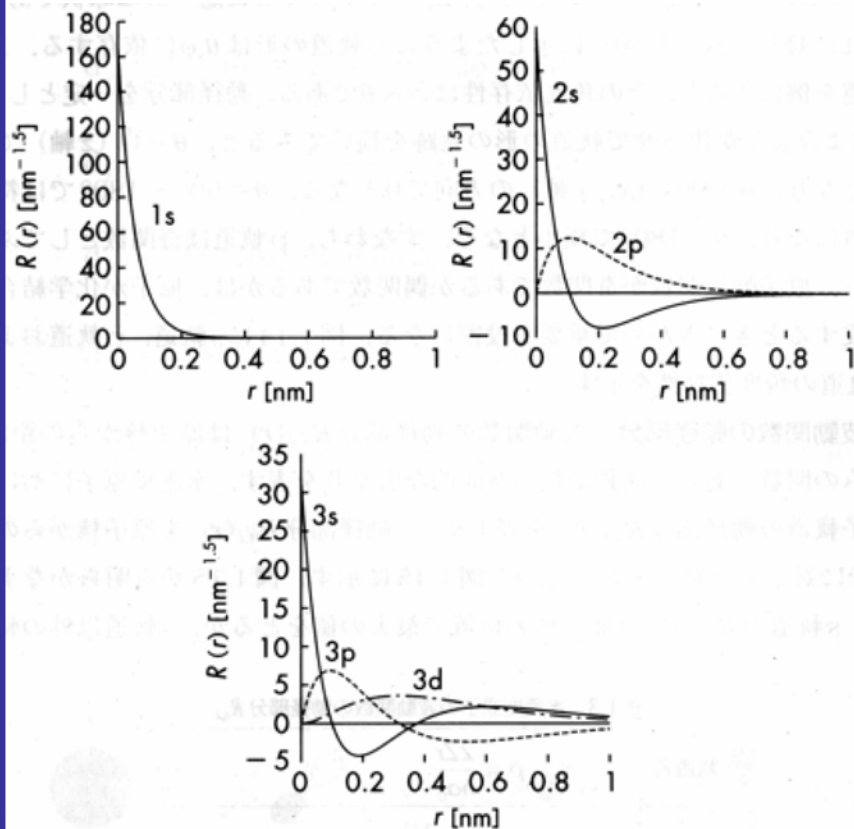
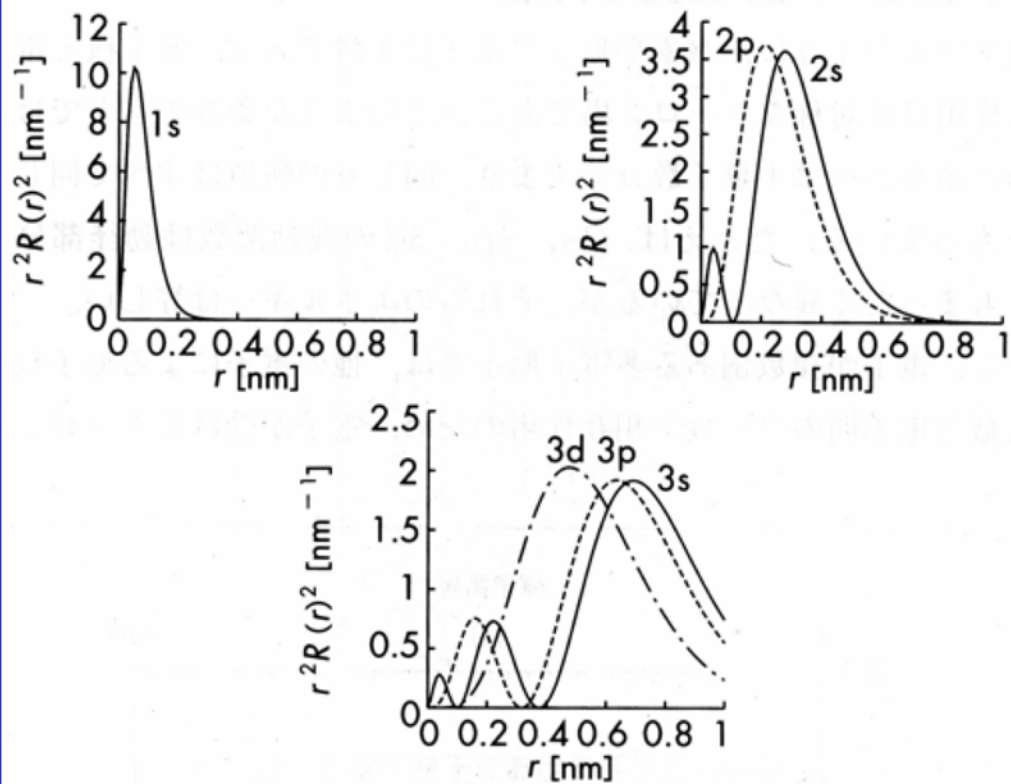
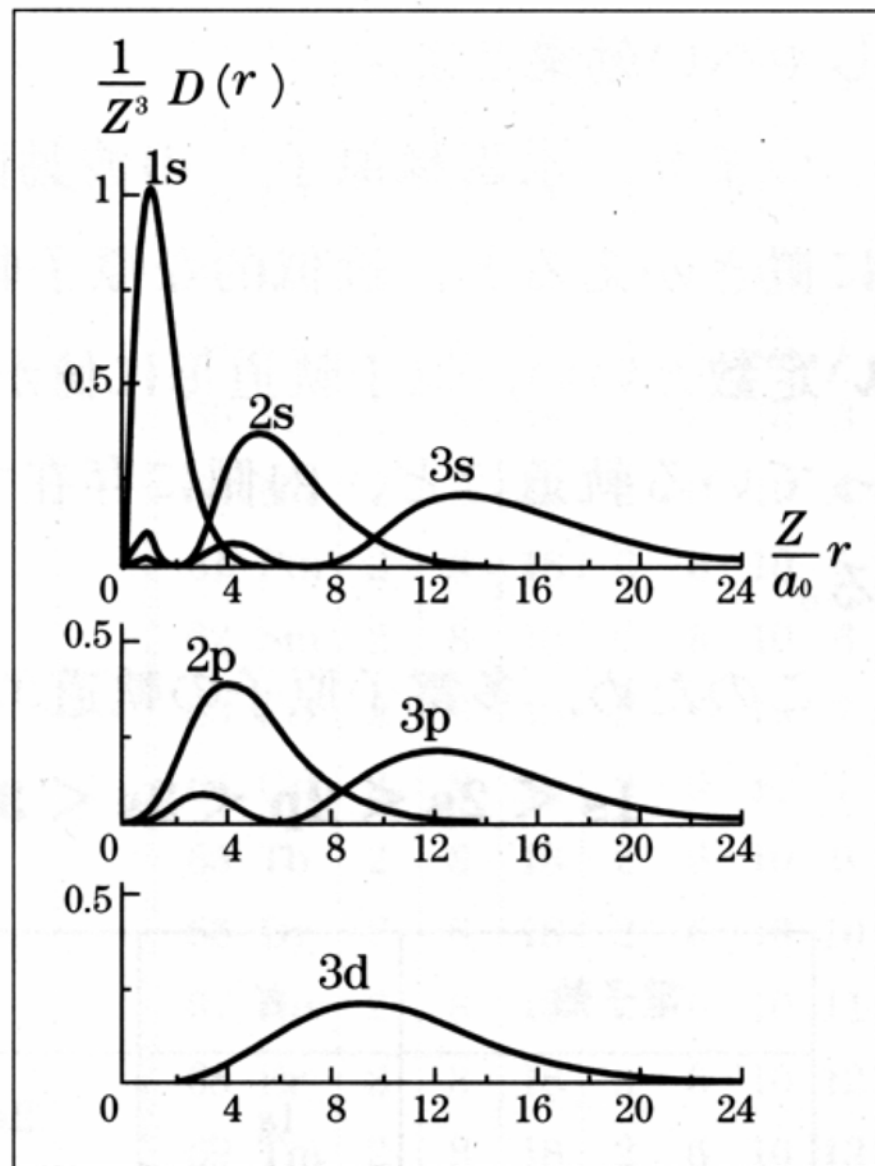


図 1.15 水素原子における動径部分 $R_{n,l}(r)$ の r 依存性.



水素原子における動径分布関数 $D_{n,l}(r)$ の r 依存性.



1s, 2s, 3s, 2p, 3p, 3d
軌道の動径分布関数 $D(r)$

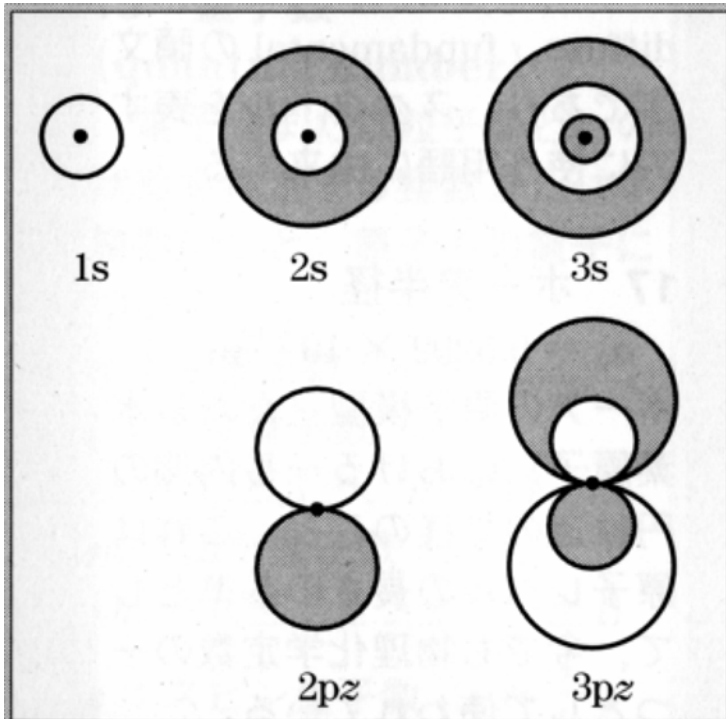
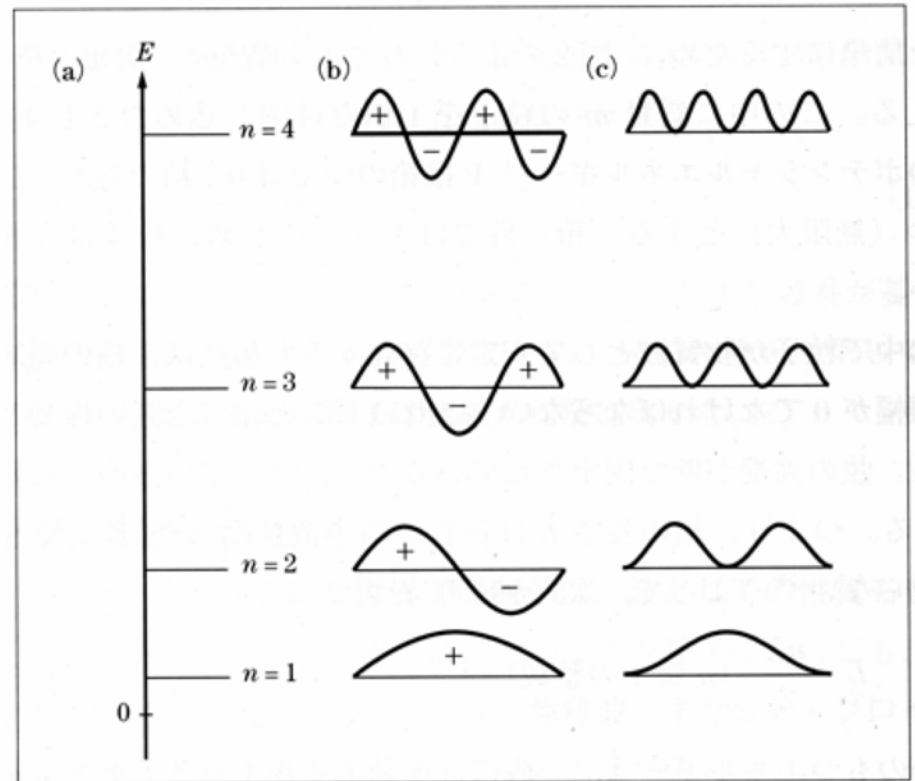


図6 軌道の空間分布の模式図
(白は正、黒は負、中央の黒丸は原子核)



一次元の箱の中の粒子

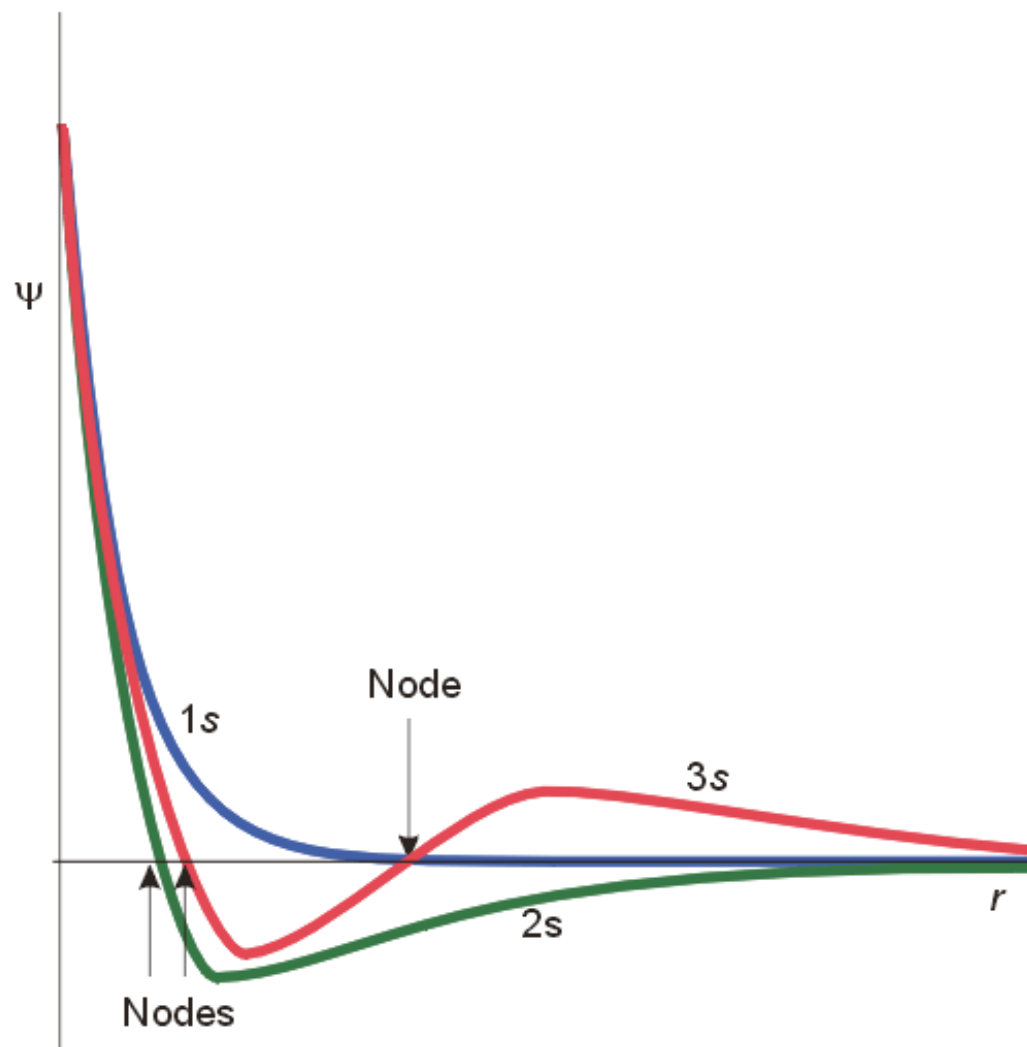
(a) エネルギー準位, (b) 波動関数 Ψ , (c) 存在密度 $|\Psi|^2$

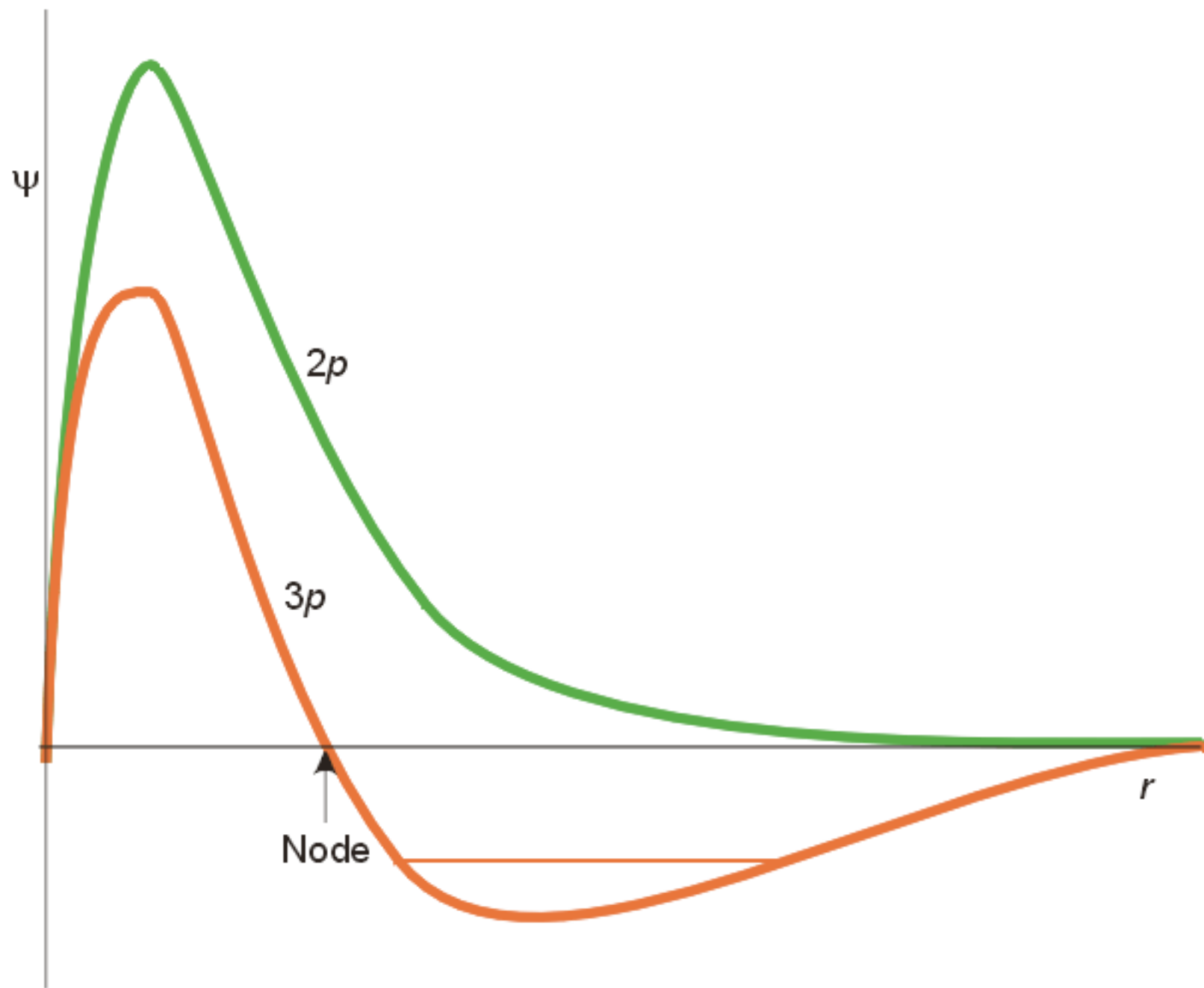
$$c = v \times \lambda$$

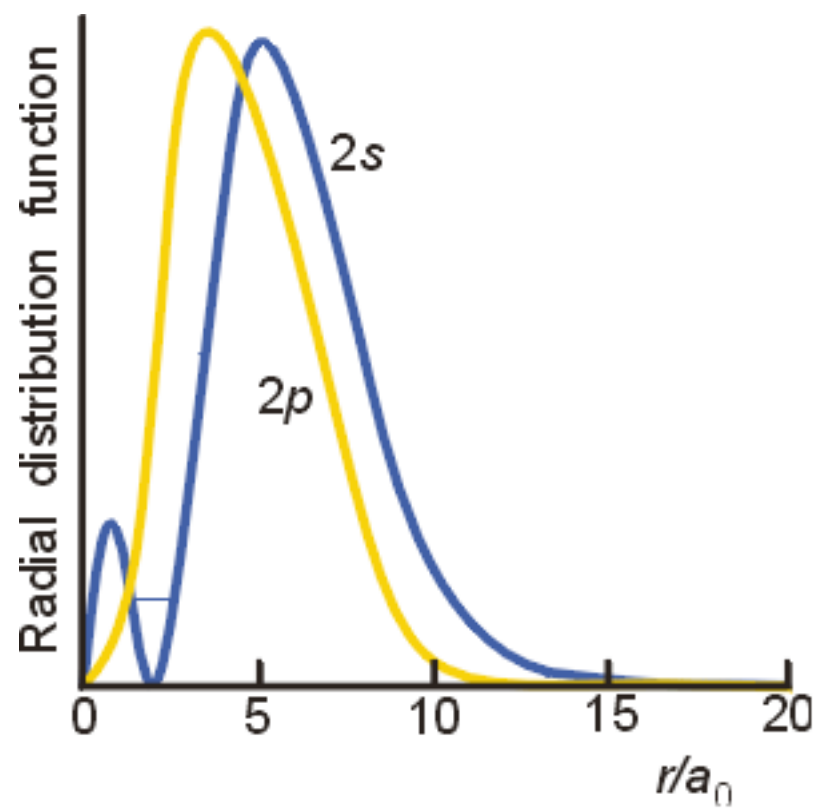
$$E = h \times v = h \times \frac{c}{\lambda}$$

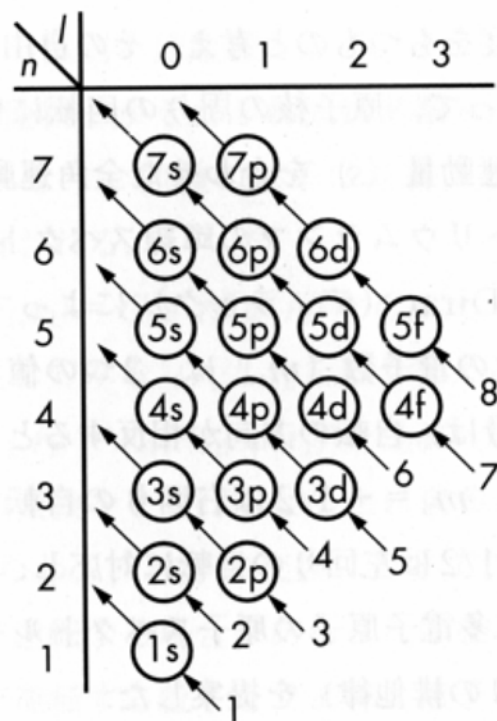
c : 光速、 h : プランク定数

v : 振動数、 λ : 波長

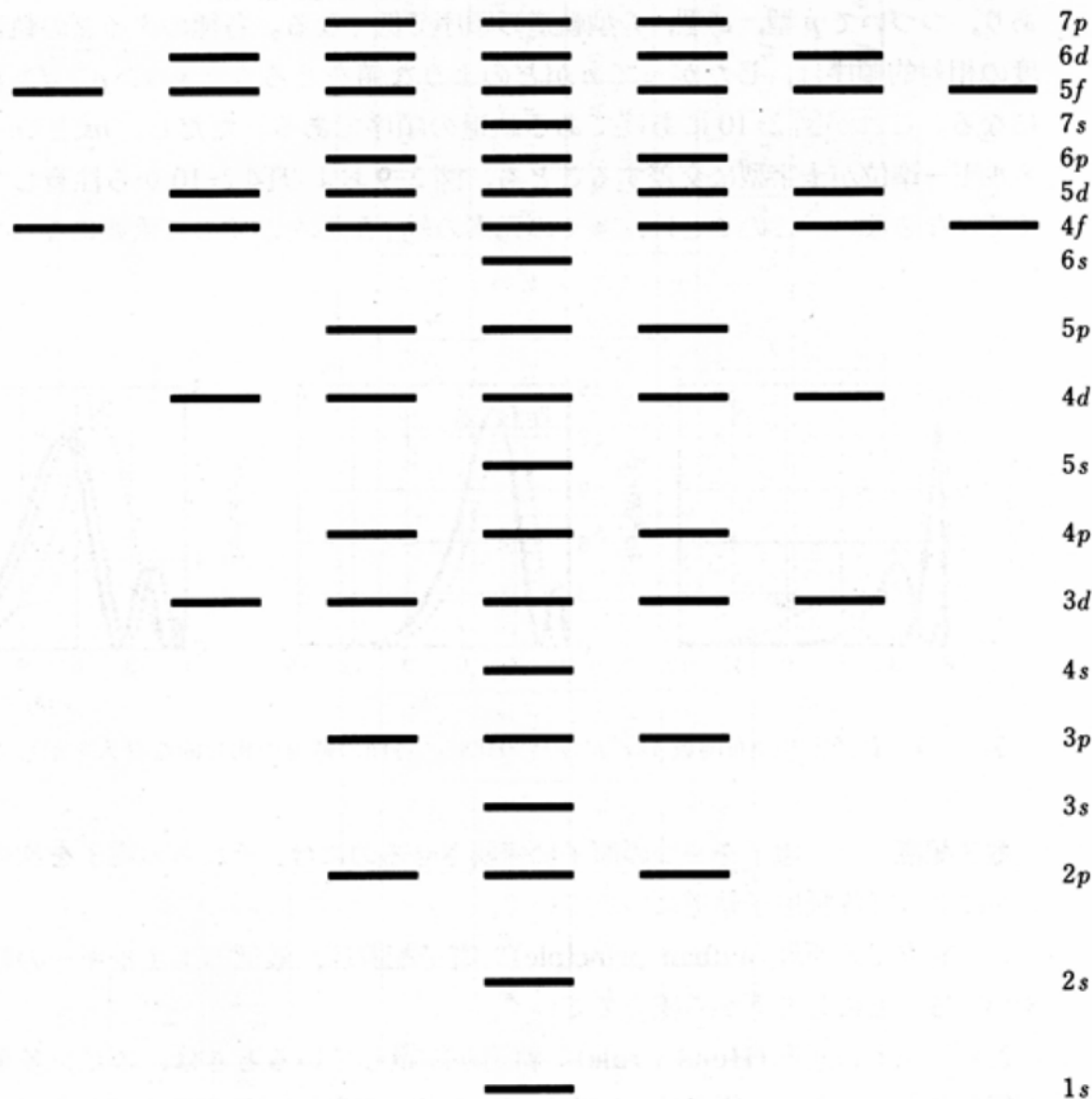




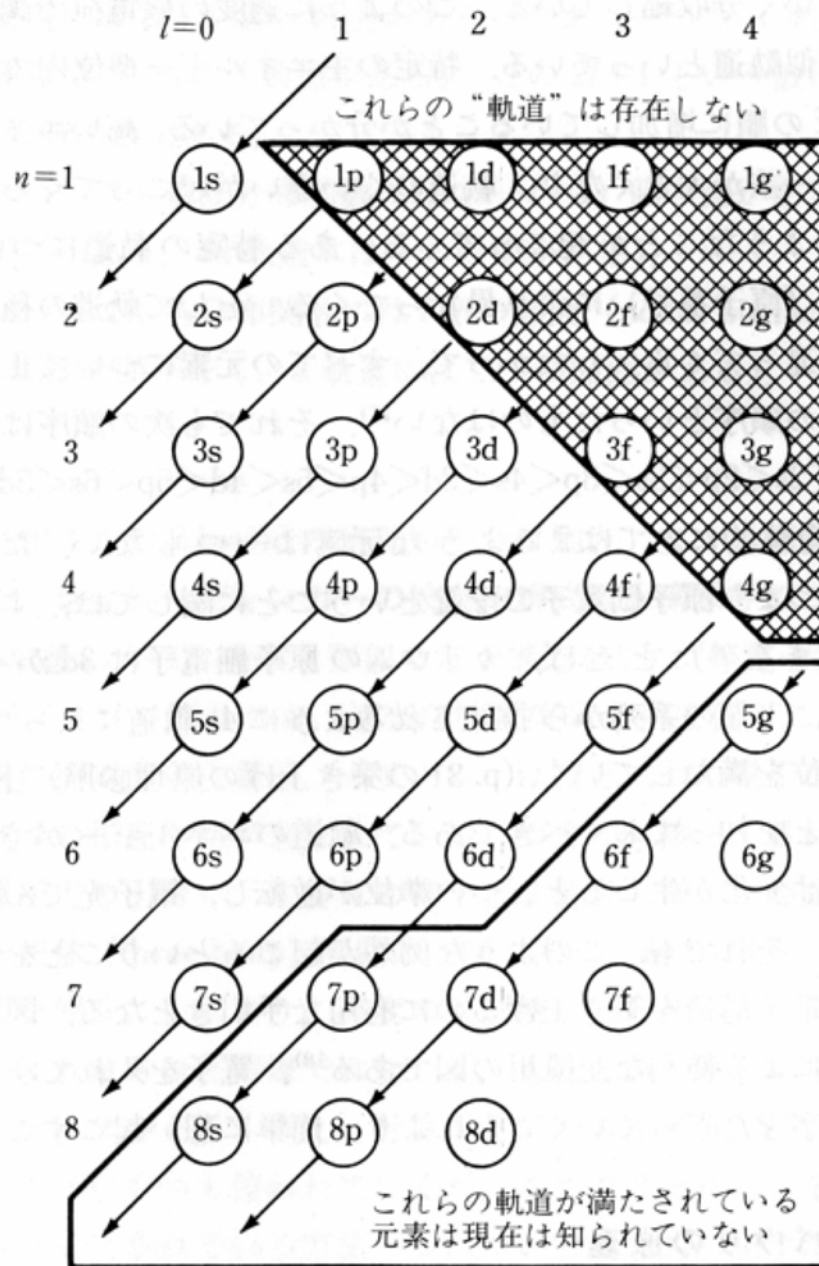




多電子原子における電子収容の順序.



多電子原子の電子配置を組立てるときに用いられる原子軌道の順序。軌道は、組立ての原理、フントの規則、パウリの排他律にしたがって下から用いられる



記憶用軌道順序図 (近似的) [T. Moeller,
“Inorganic Chemistry,” Wiley, New York (1952).
許可を得て転載]

主量子数

副殻が満たされていく

 n $n s$ $(n-1) d$ $n p$

1

1	2															
H	He											非金属				

軽金属

遷移金属

VIII A

2

I A	II A											III A	IV A	V A	VI A	VII A	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne

3

11 Na	12 Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B			I B	II B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
-------	-------	-------	------	-----	------	-------	--------	--	--	-----	------	-------	-------	------	------	-------	-------

4

19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

5

37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------

6

55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

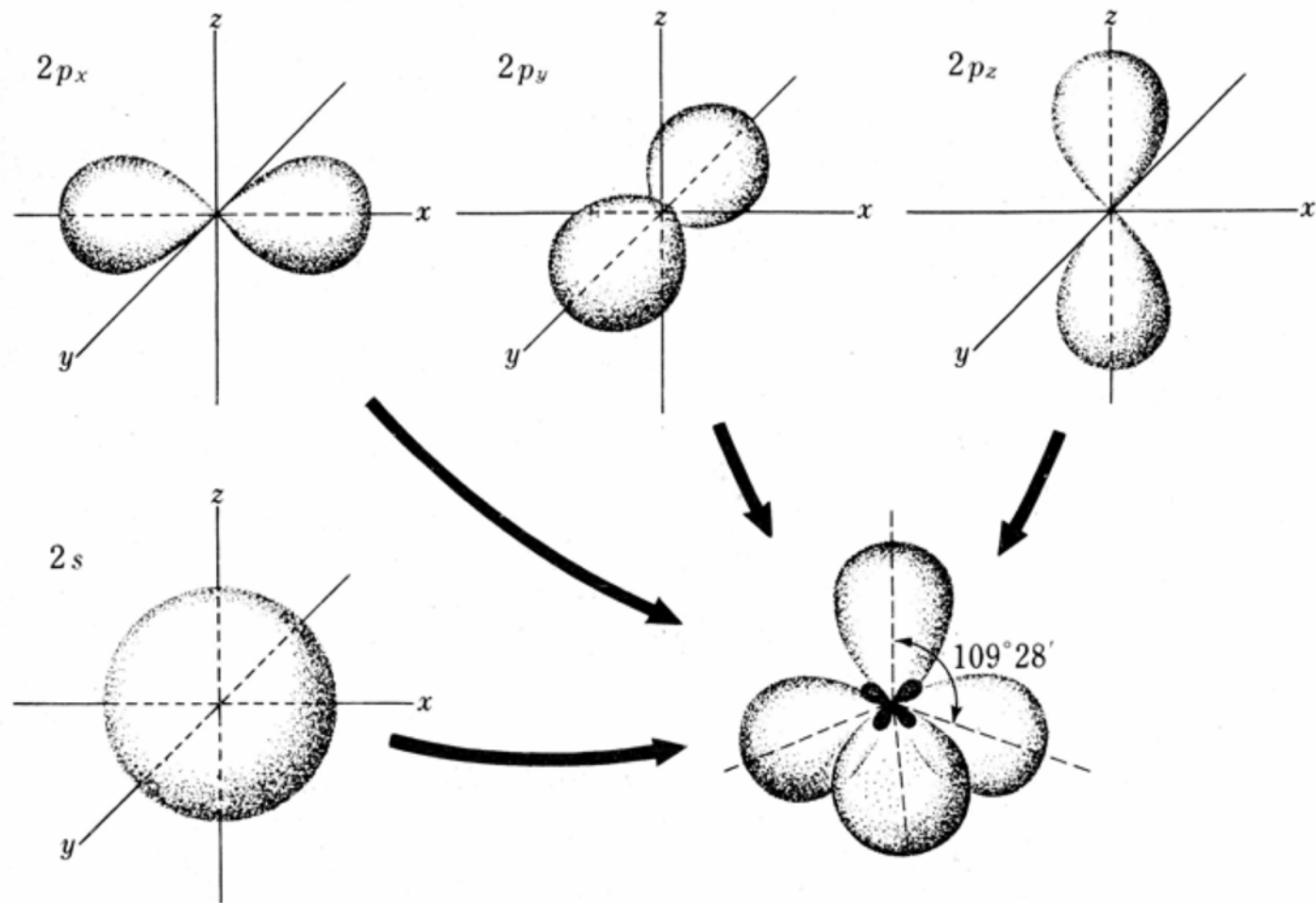
7

87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Ha	106												
-------	-------	-------	--------	--------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

後遷移金属

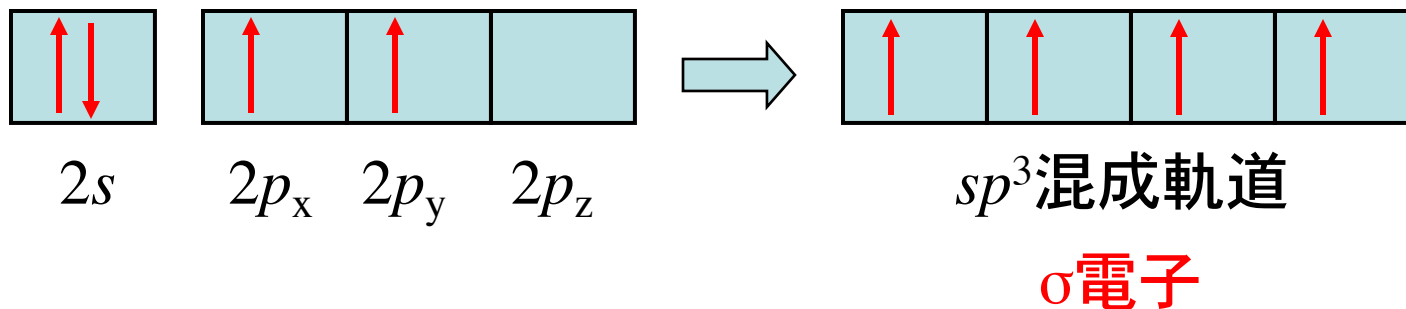
 $(n-2) f$

ランタニド 系列	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
アクチニド 系列	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



4 炭素の $2s$, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$ オービタルのまじりあいによる新しい
オービタルの形成

Hybridization

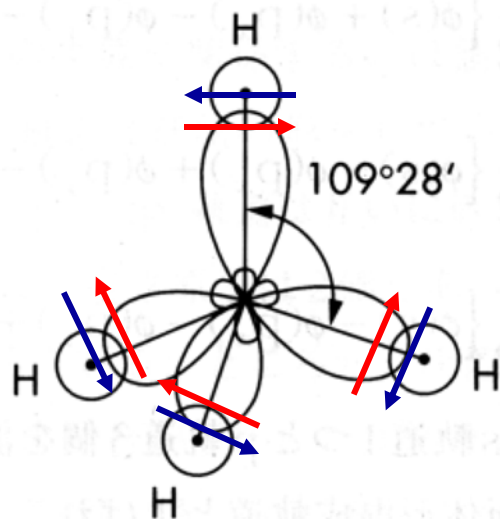


$$\psi_1 = \frac{1}{2} (2s + 2p_x + 2p_y + 2p_z)$$

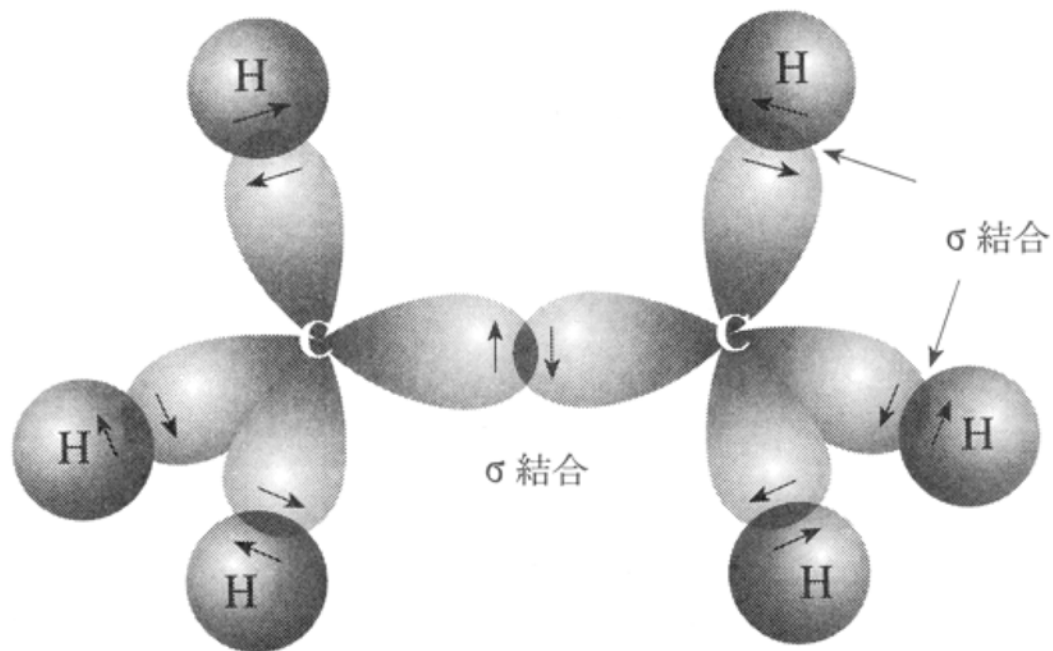
$$\psi_2 = \frac{1}{2} (2s - 2p_x - 2p_y + 2p_z)$$

$$\psi_3 = \frac{1}{2} (2s + 2p_x - 2p_y - 2p_z)$$

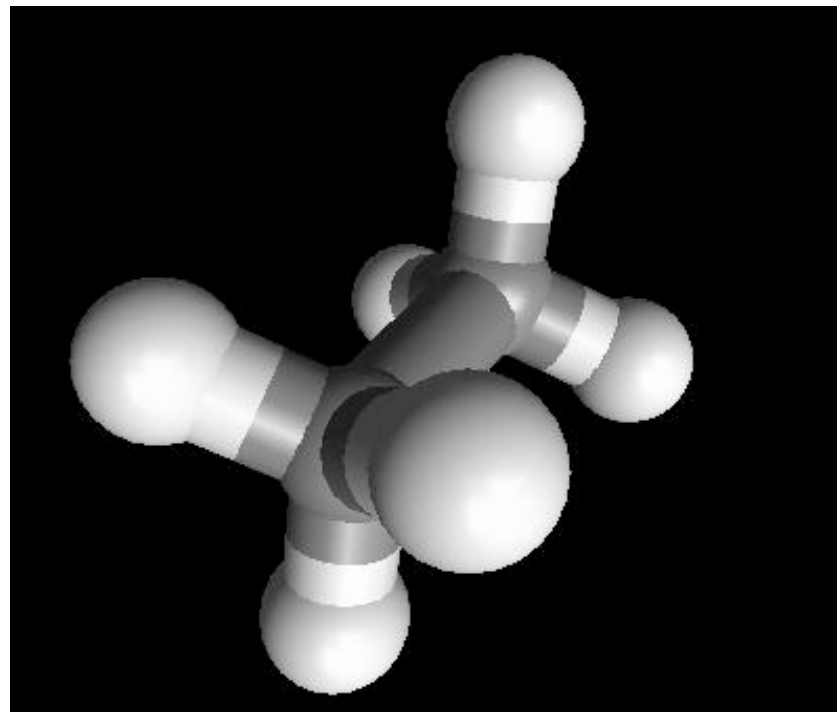
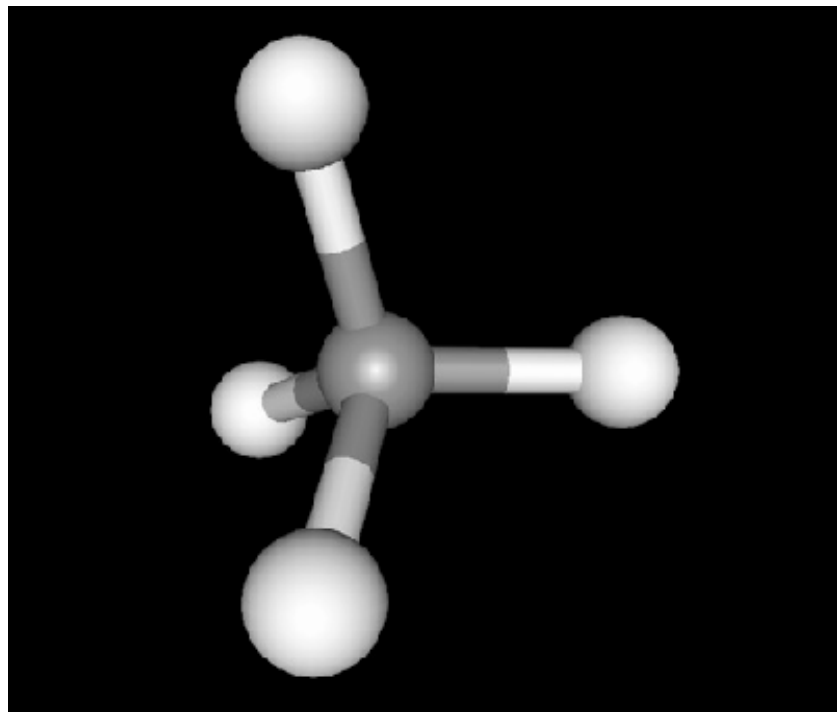
$$\psi_4 = \frac{1}{2} (2s - 2p_x + 2p_y - 2p_z)$$

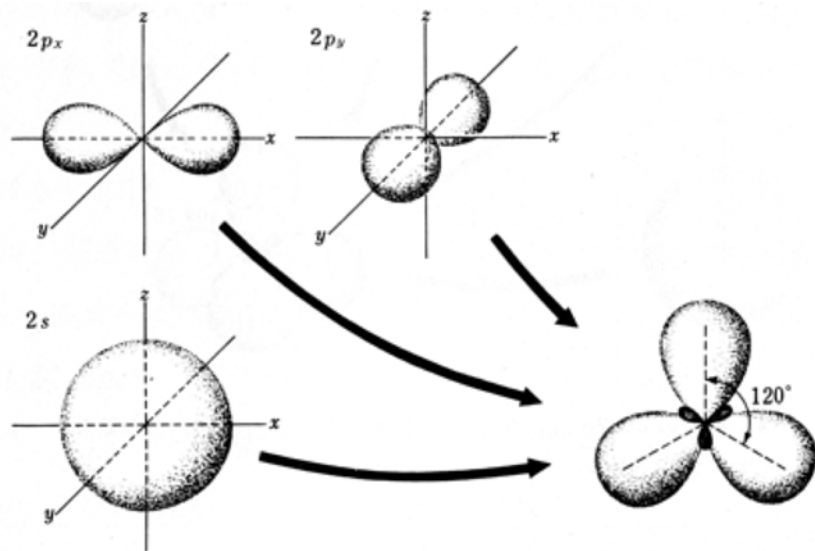


メタン分子における σ 結合.

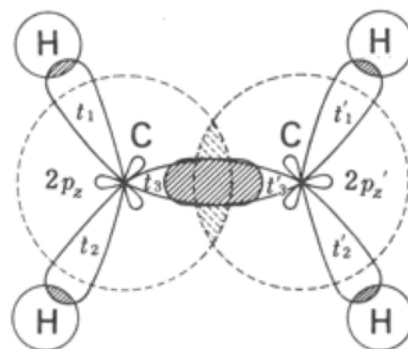


エタン CH_3CH_3 の結合の模式図. エタンの 7 個の結合オービタルのうちの 6 個は炭素原子の sp^3 オービタルと水素の $1s$ オービタルの重なりによってできる. 7 番目の結合オービタルはそれぞれの炭素の sp^3 オービタルの重なりによる. エタンには 14 個の価電子がある. 7 個の結合オービタルはそれぞれ逆のスピンのもつ価電子対で占められる. 電子を矢印で示した.

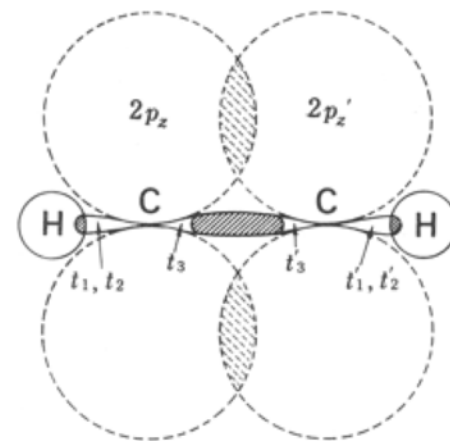




2s, 2p_x, 2p_y オービタルのまじりあい形成されるオービタル

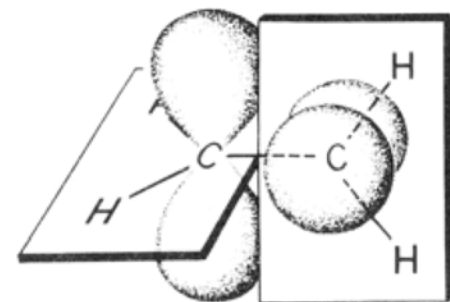
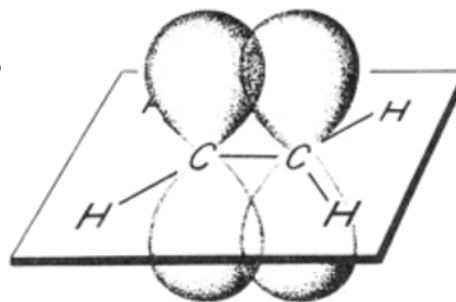


分子面の上からみたとき



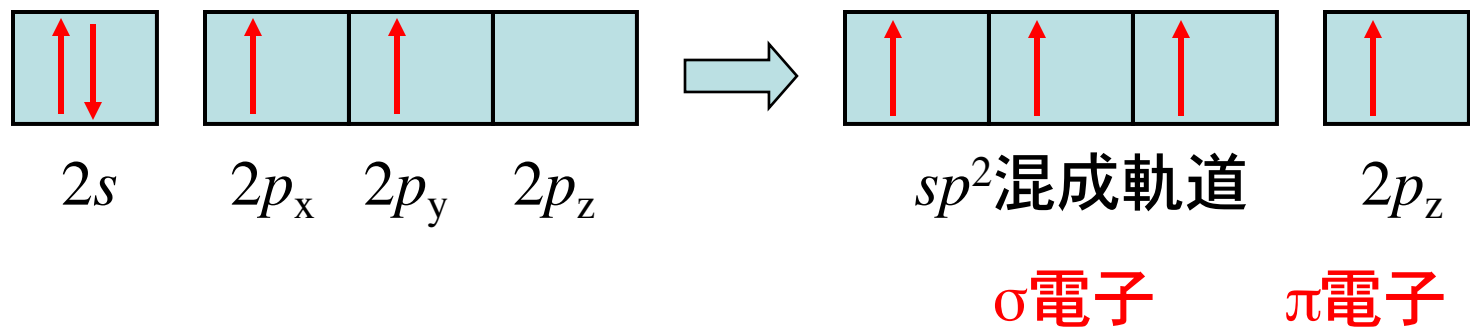
分子面の横からみたとき

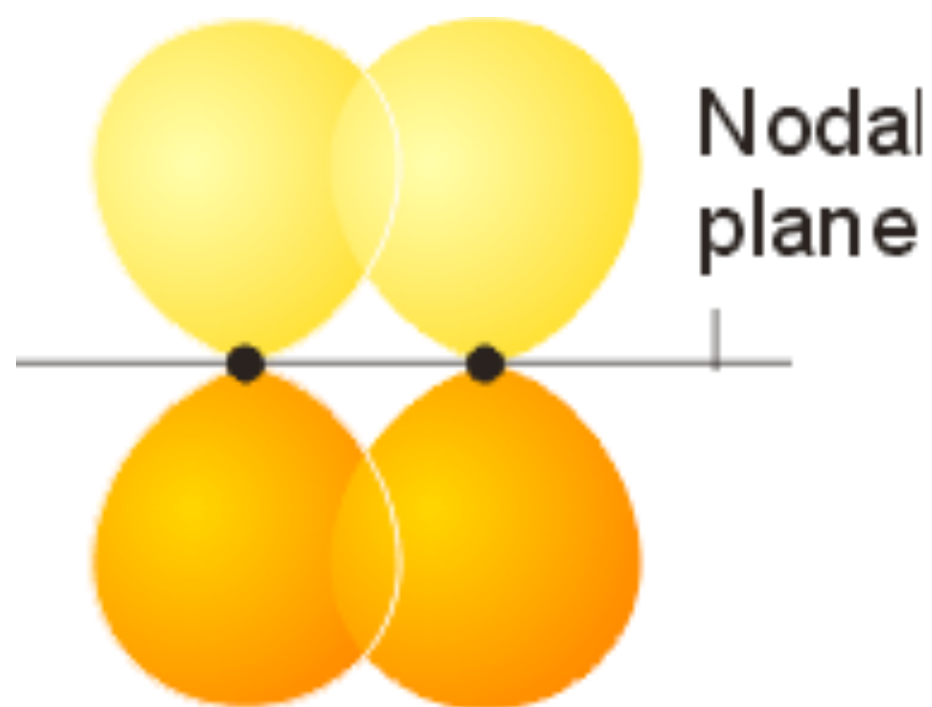
エチレン分子の価電子のオービタル



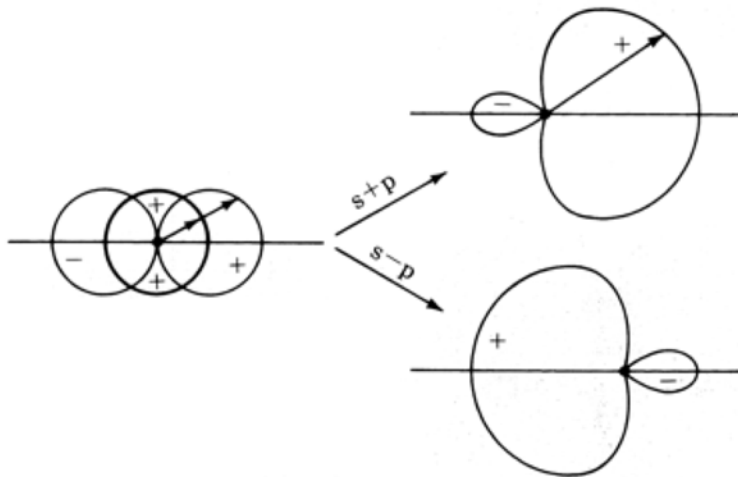
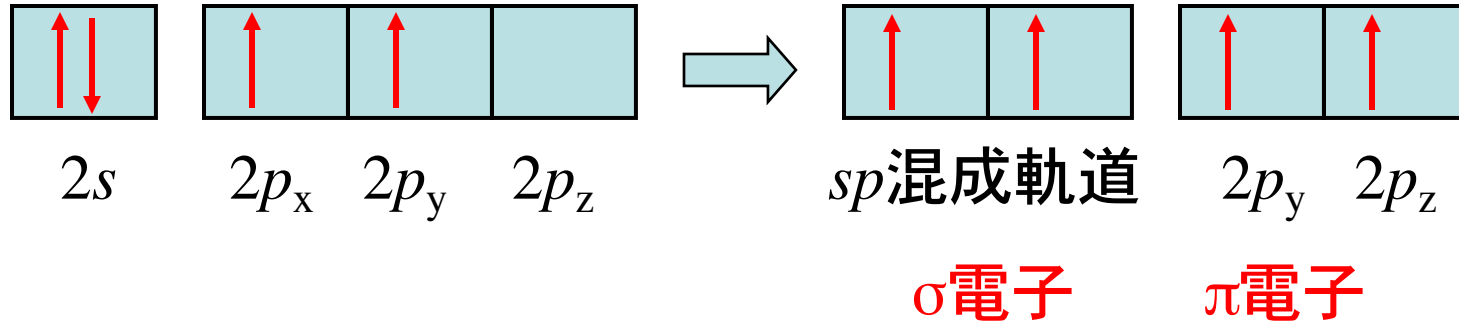
エチレンのπ電子のオービタルのかさなりのねじれの角度による変化

sp^2 -Hybridization

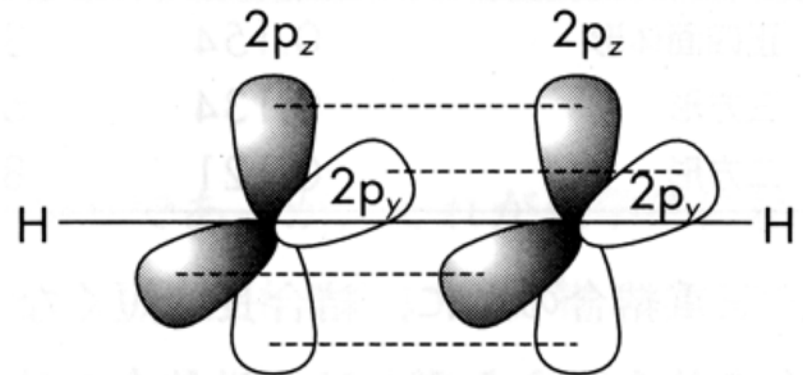




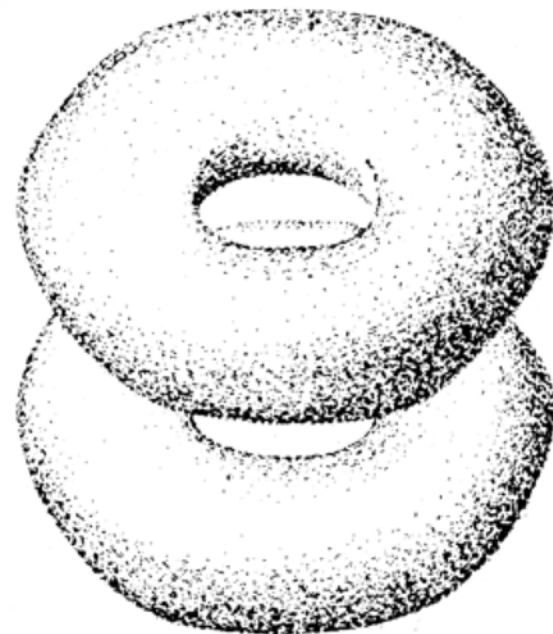
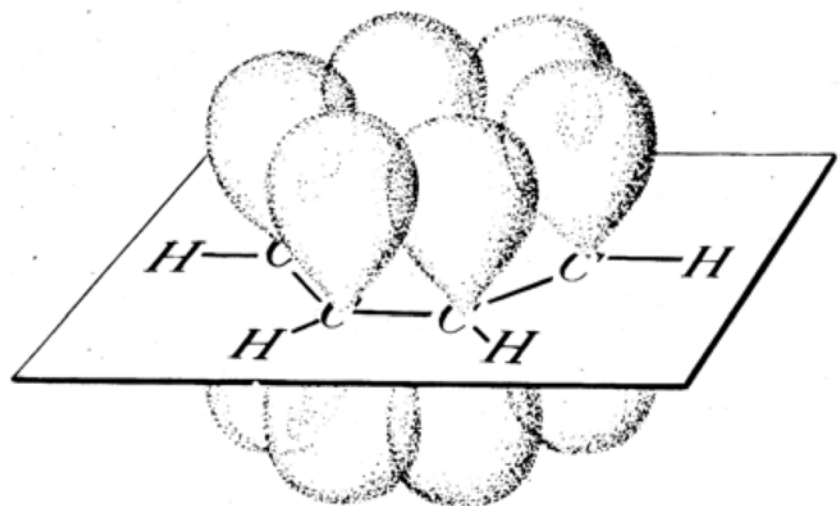
sp -Hybridization



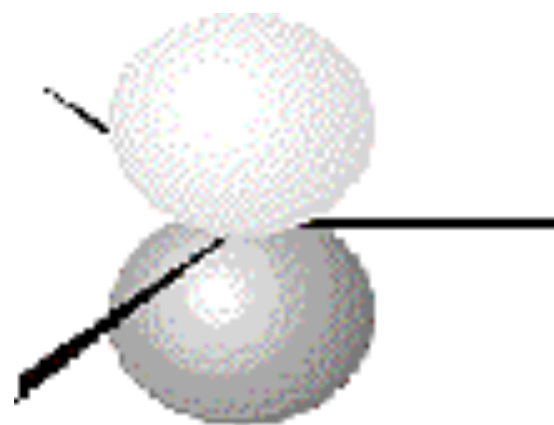
sp 混成軌道のでき方——角波動関数の和と差



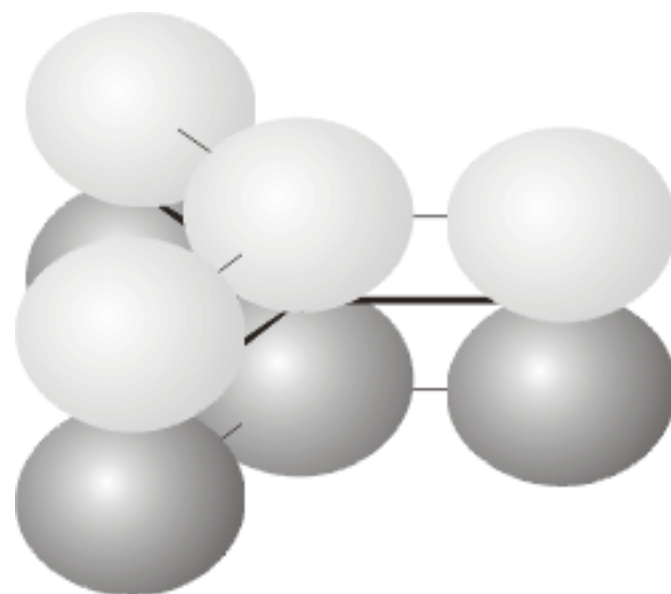
アセチレン分子における 2つの π 結合.



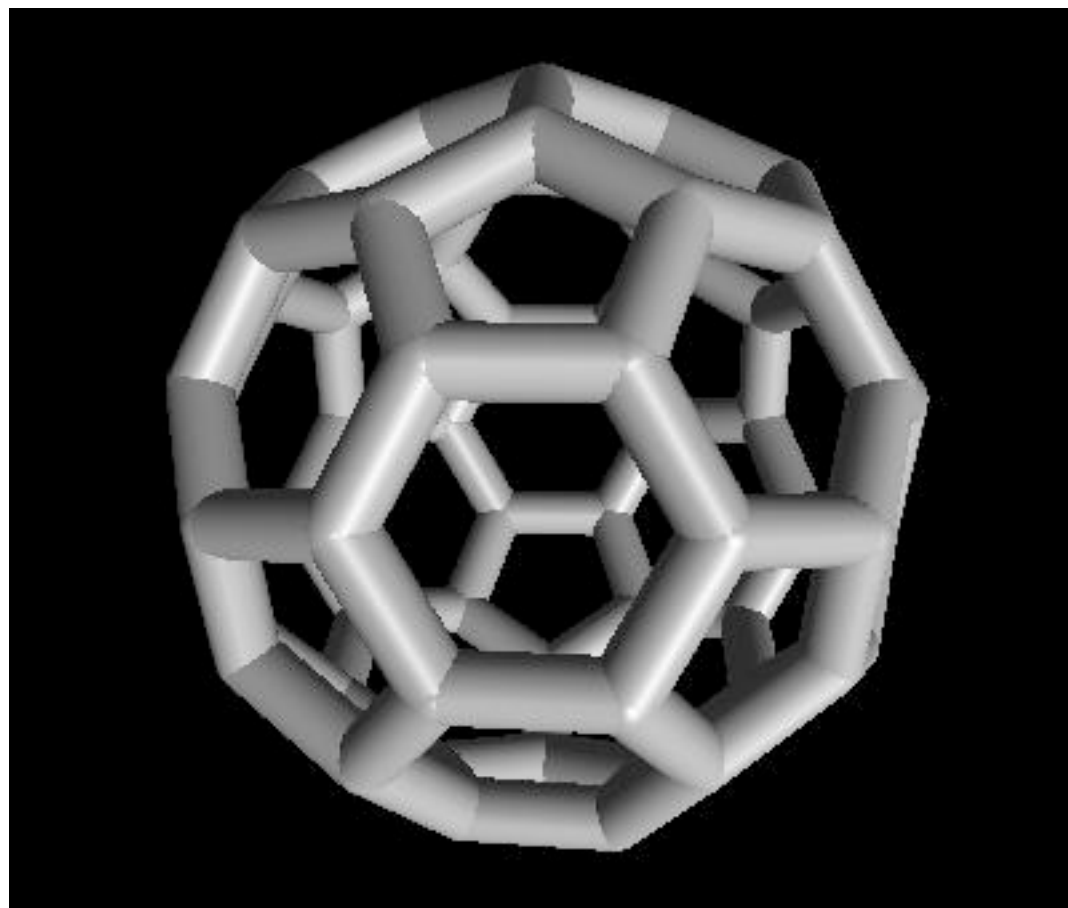
ベンゼンの $2p_z$ 電子のオービタルのひろがり



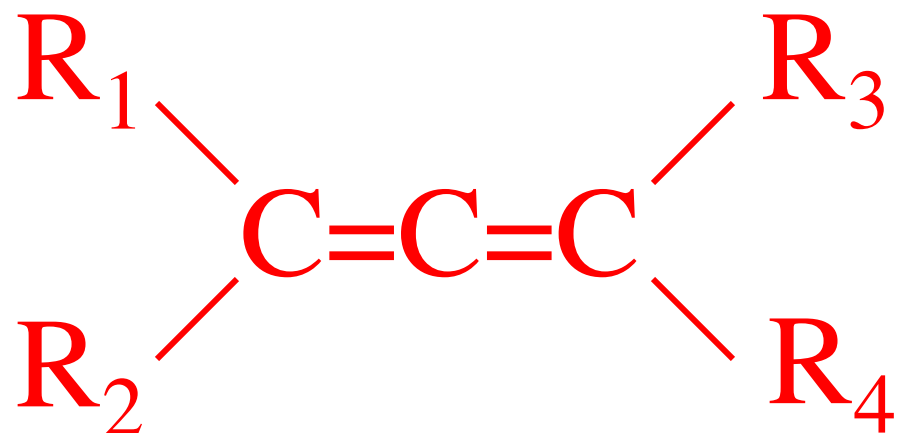
21 AlX_3 and BX_3



22

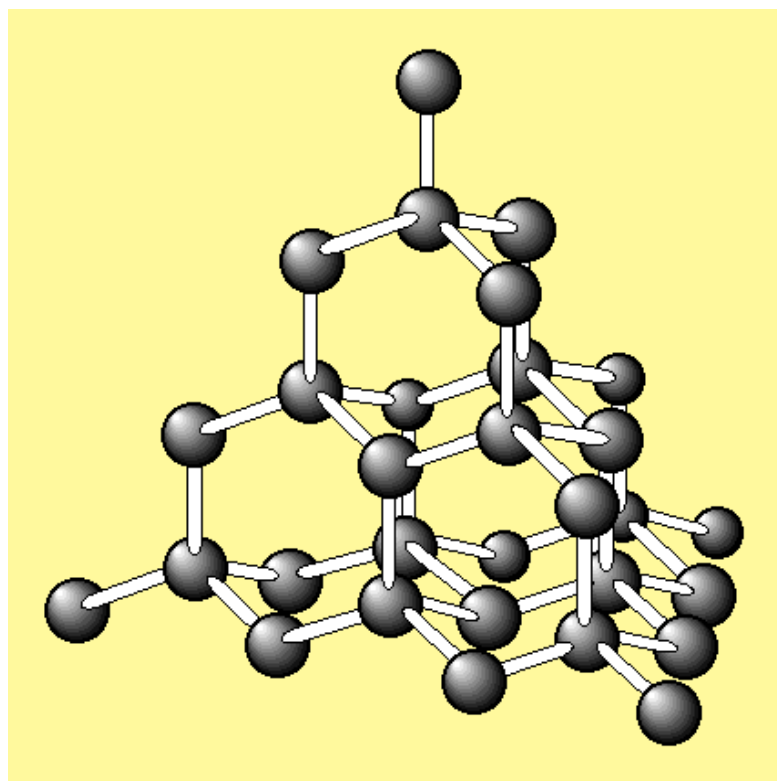


アレン(allene) : $\text{H}_2\text{C}=\text{C}=\text{CH}_2$

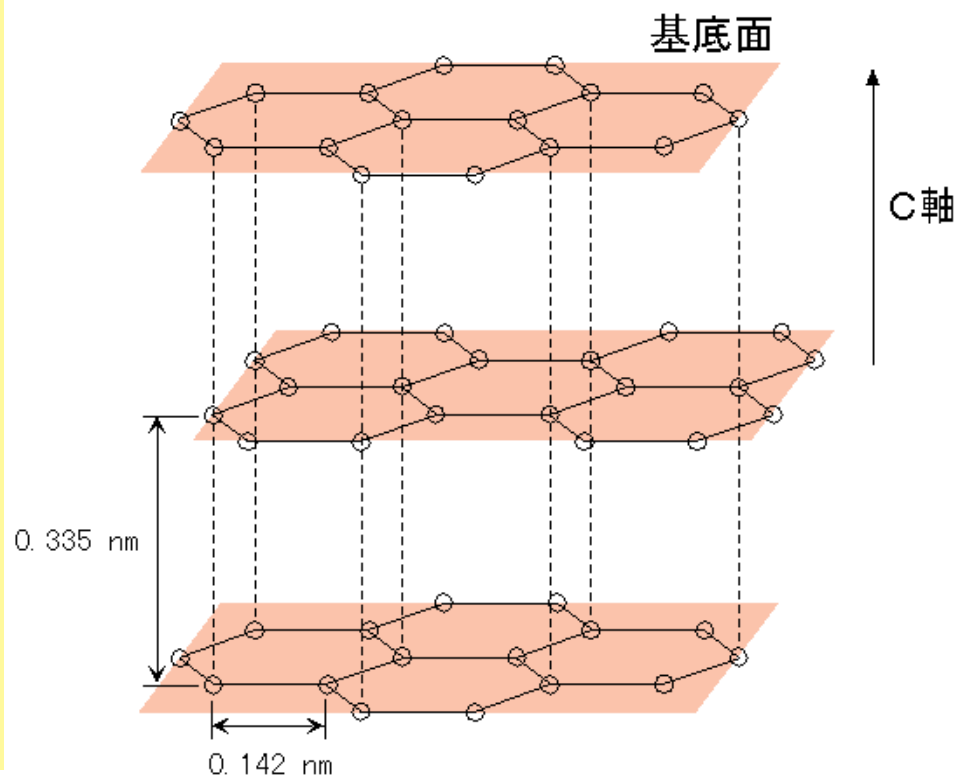


不斉炭素原子は無いが、光学異性体があるのはなぜか？

炭素



ダイヤモンド



グラファイト

MgB₂

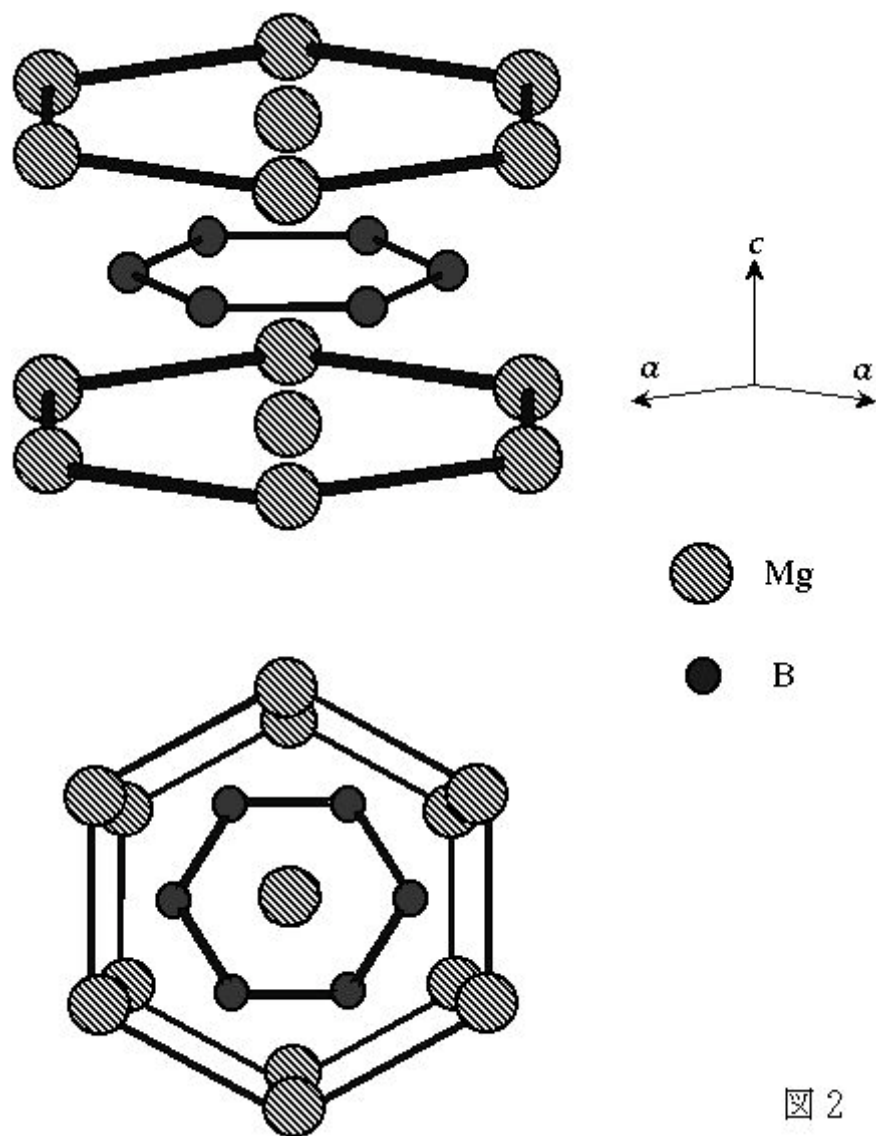
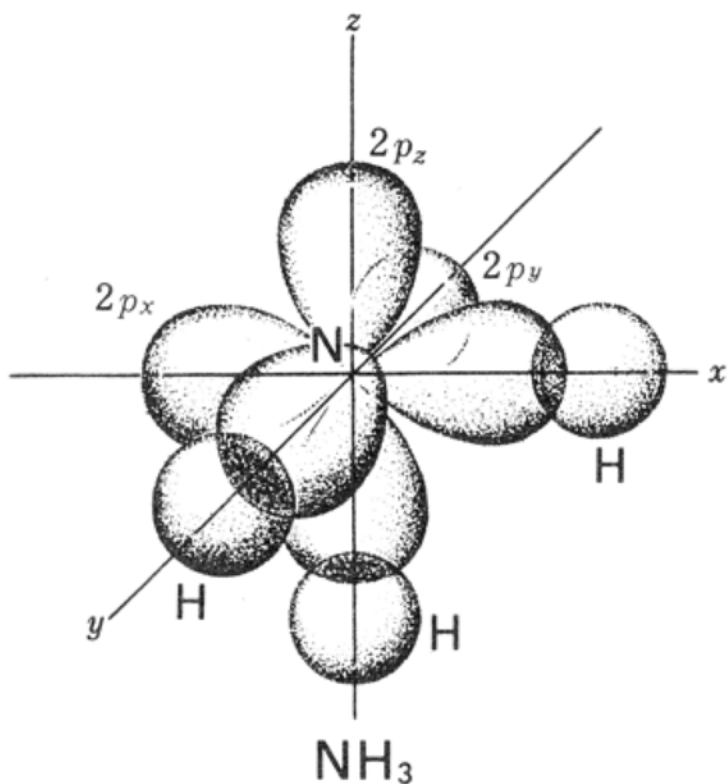
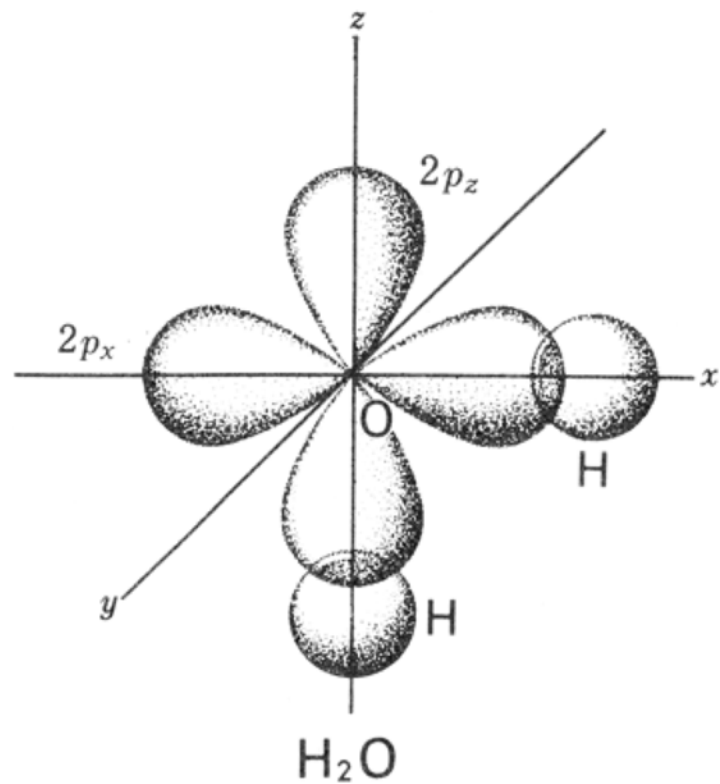
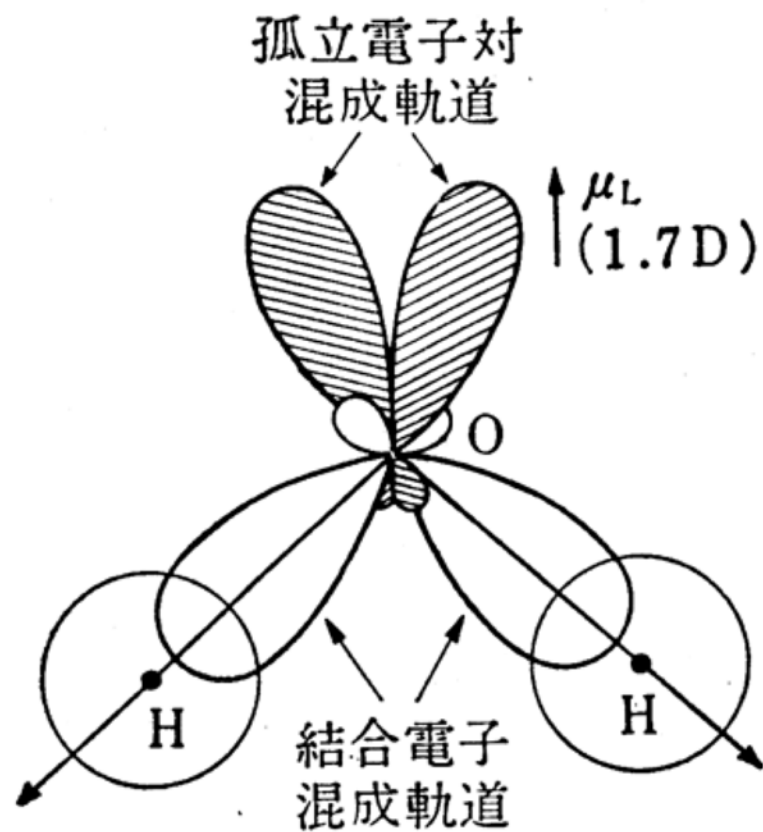


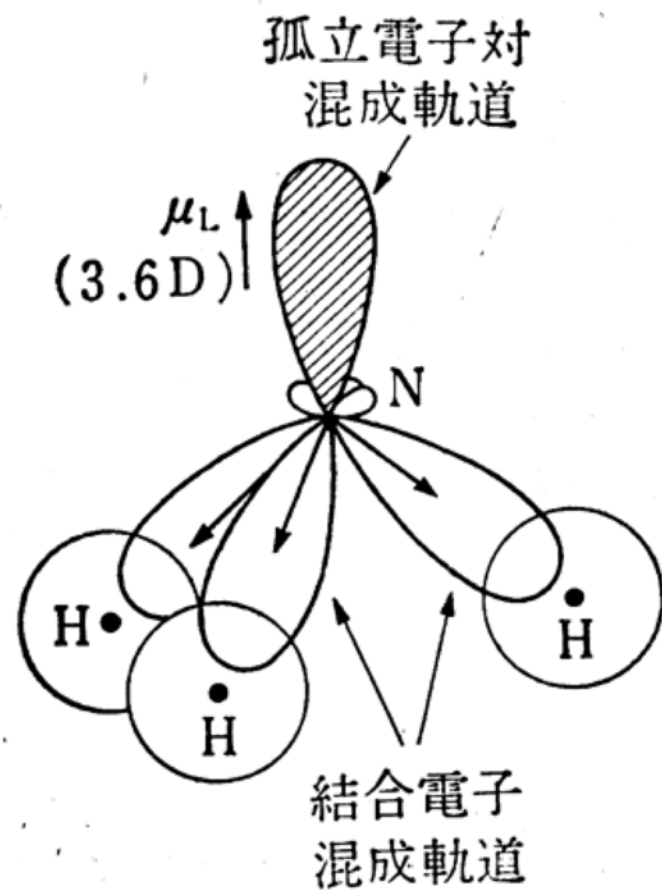
图 2



酸素および窒素原子の不对電子のオービタル



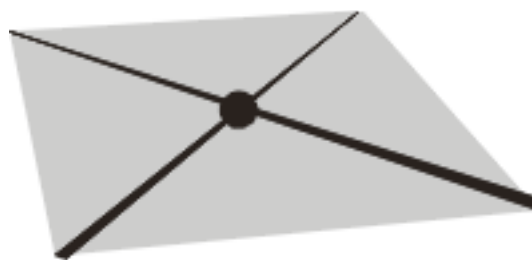
(a) H_2O



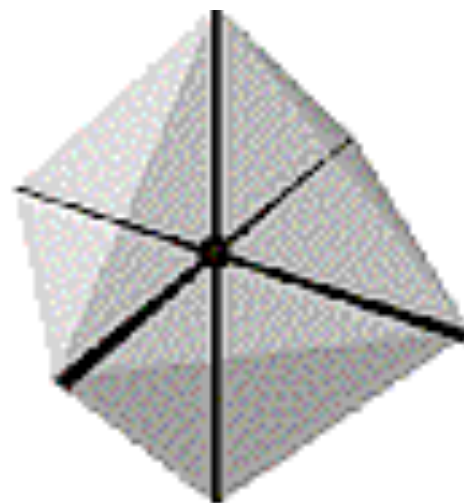
(b) NH_3



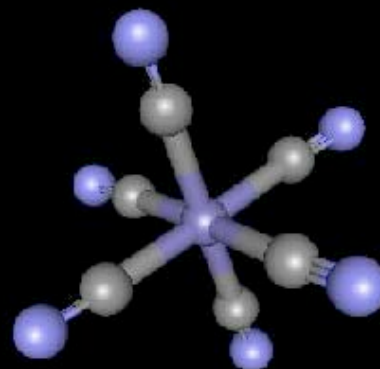
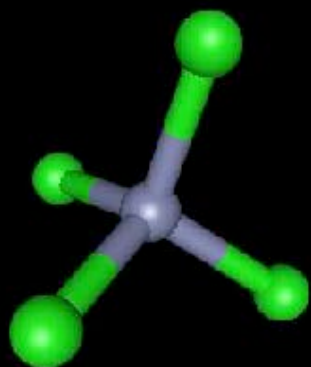
4 Tetrahedral complex, T_c

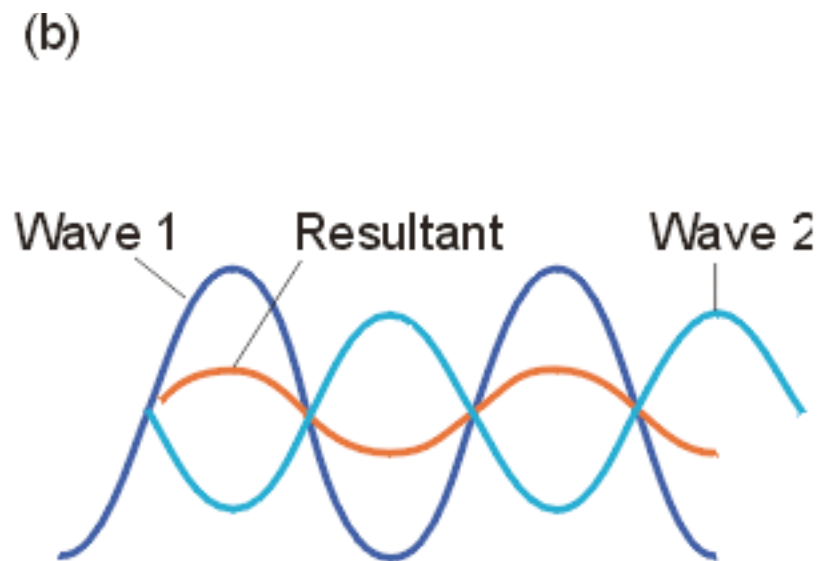
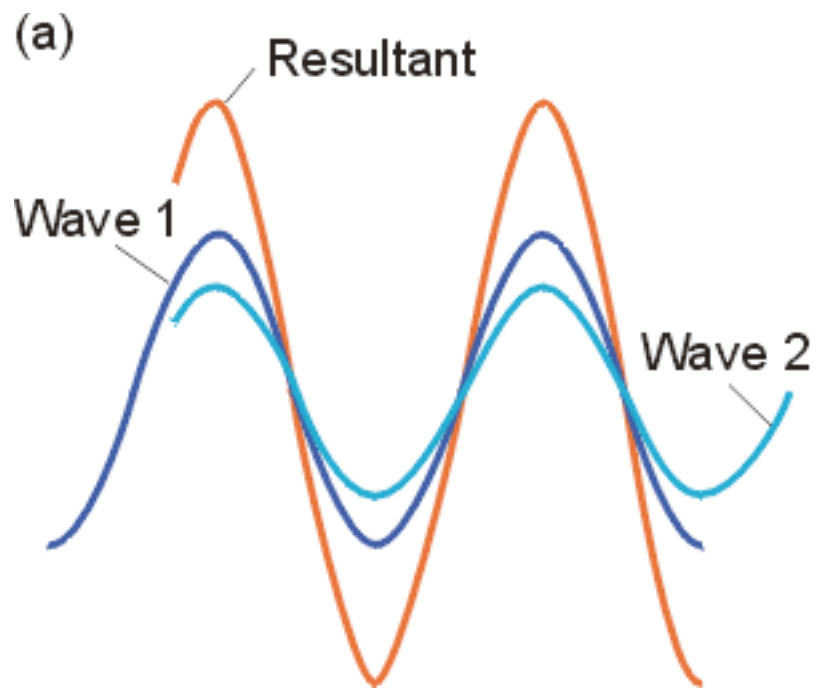


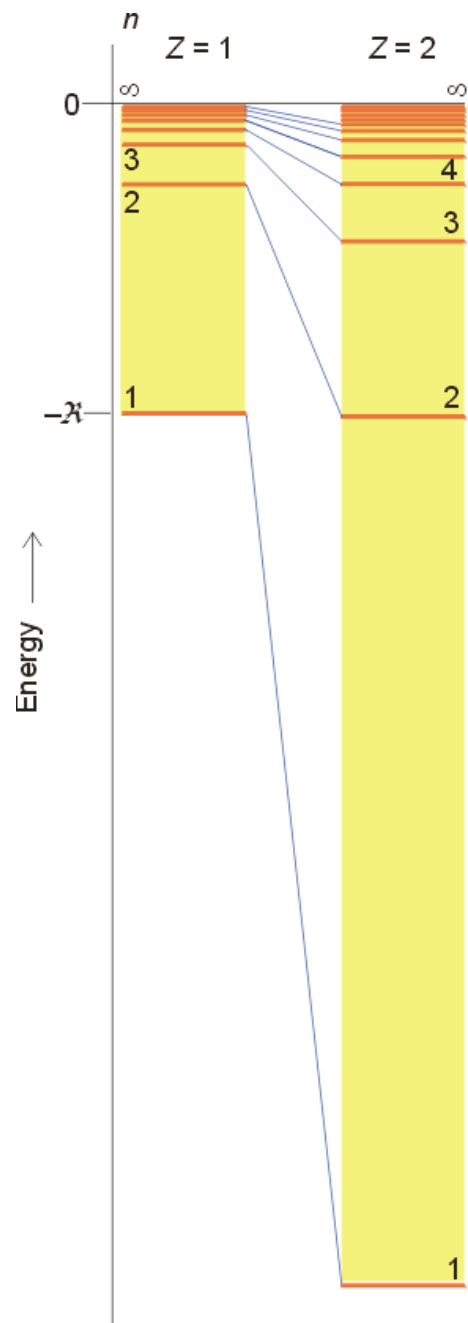
6 Square-planar complex, D_{4h}

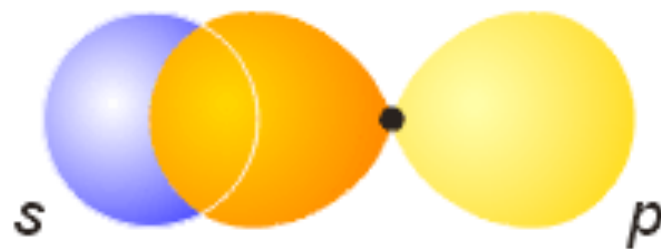
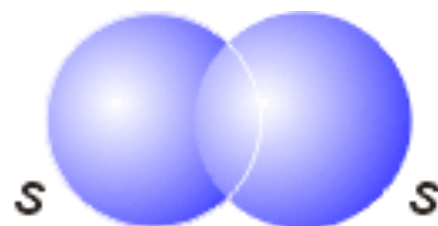


10 Octahedral complex, O_h









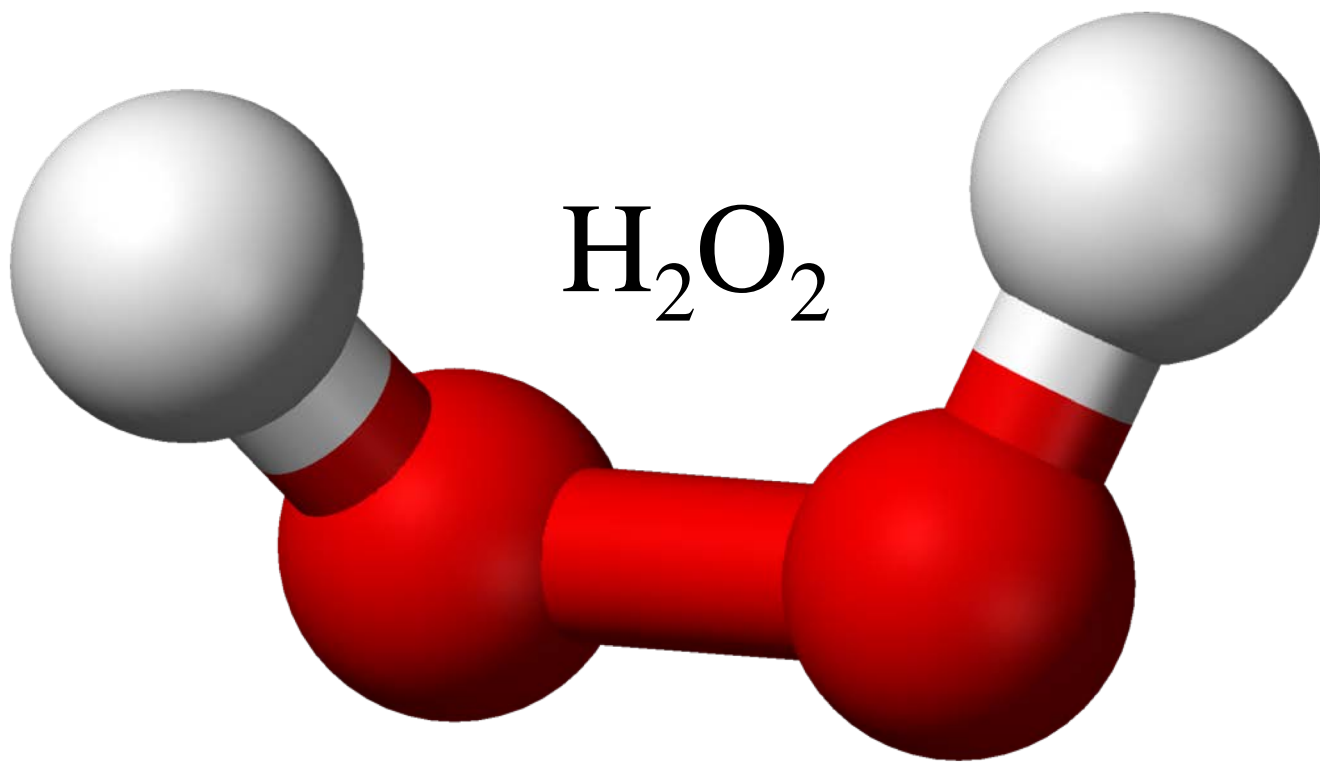
炭素（C）とケイ素（Si）の違い

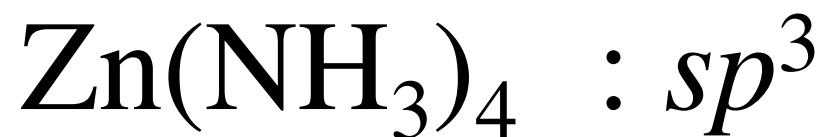
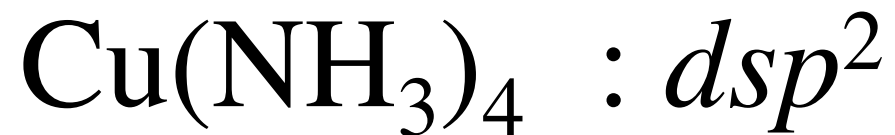
C：多重結合性（二重、三重結合）

Si：単結合（多重結合は希）

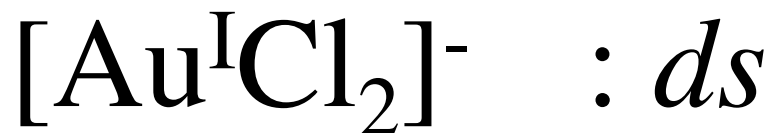
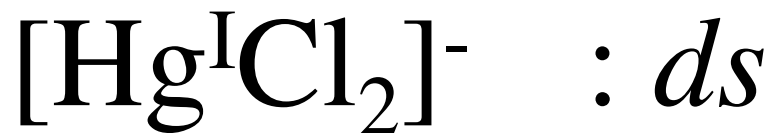
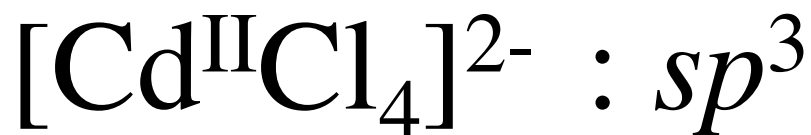
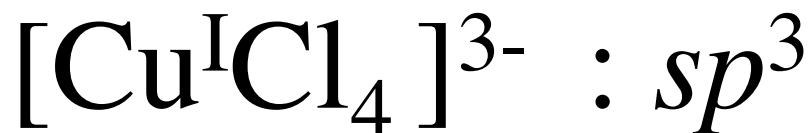
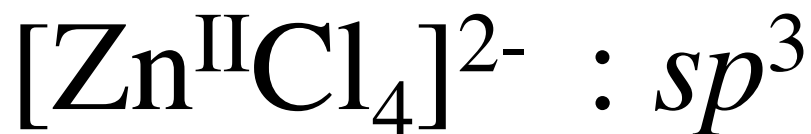
C： $(1s)^2(2s)^2(2p)^2$

Si： $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^2$

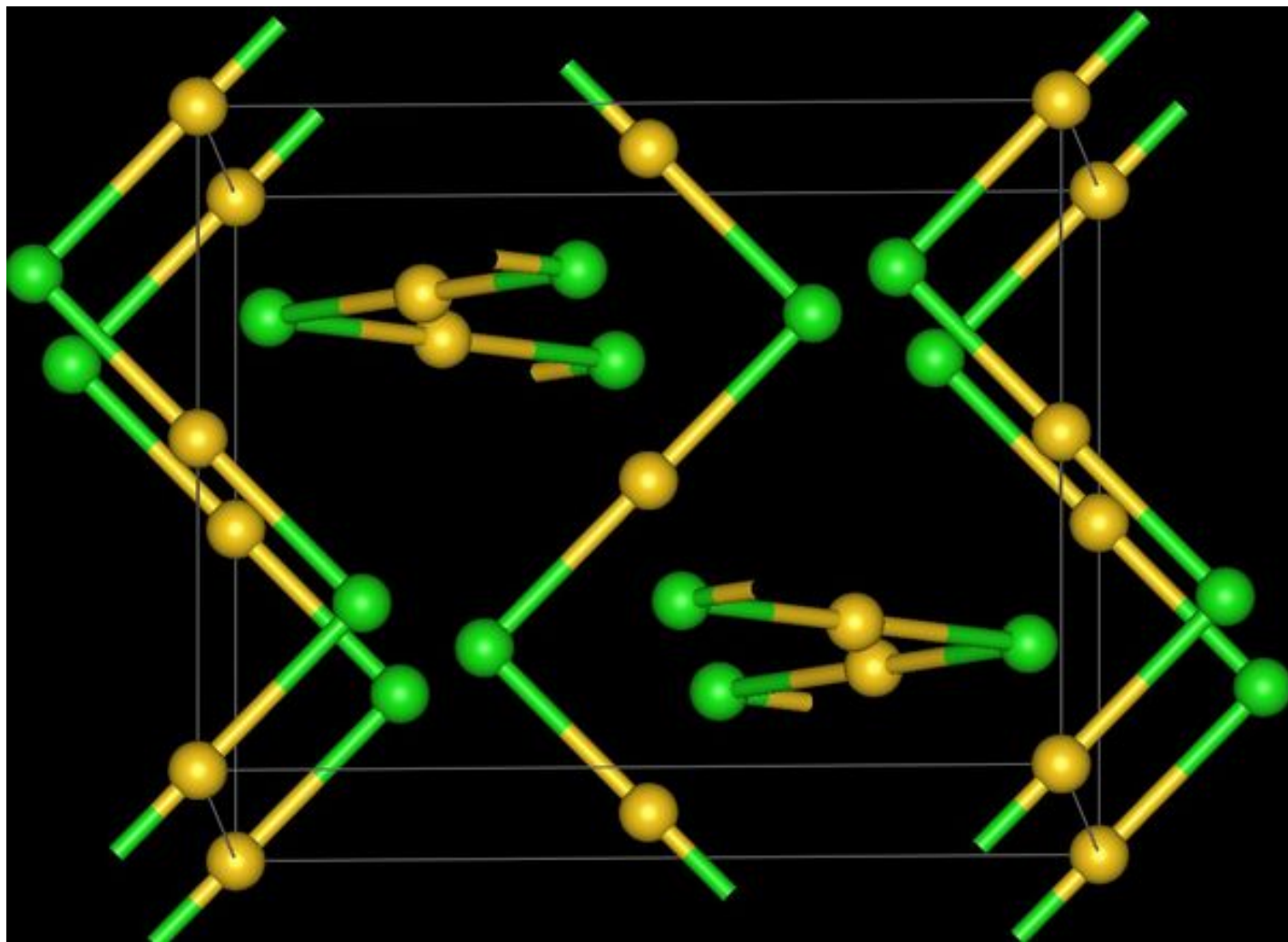




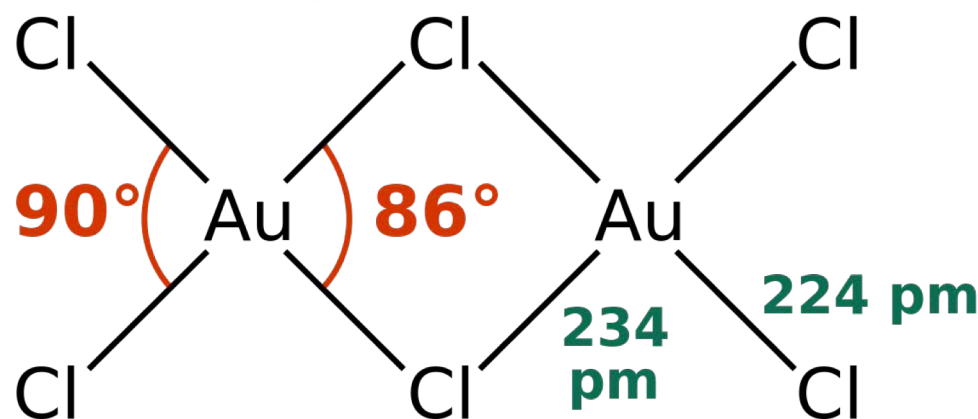
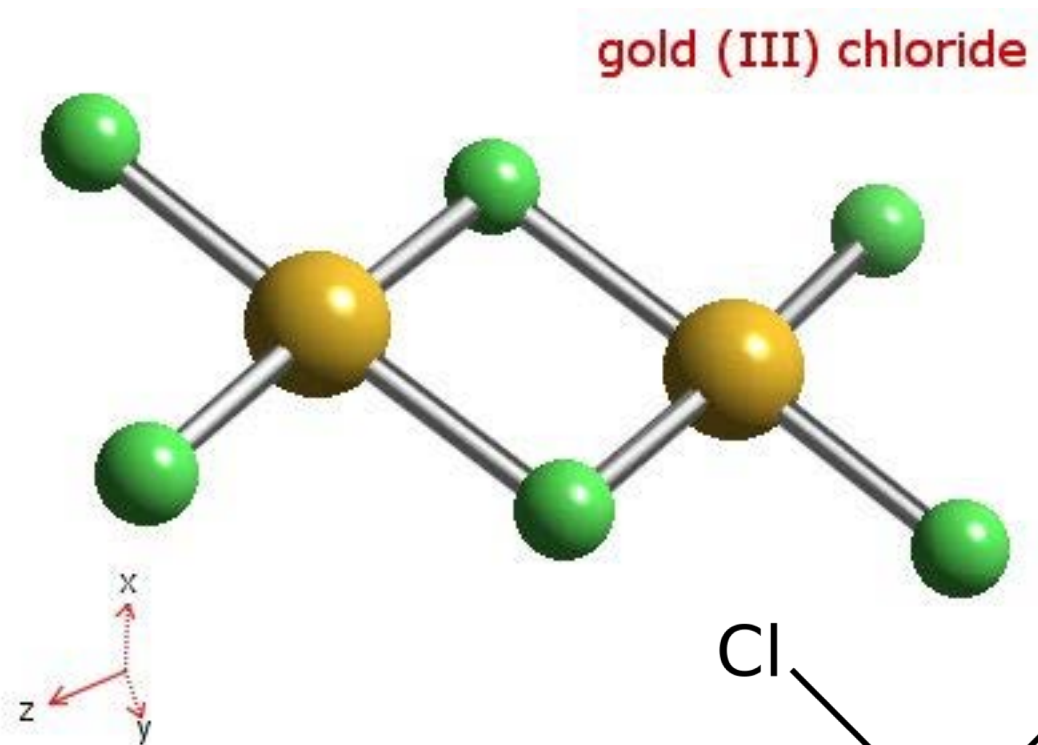
d^{10} : 化合物

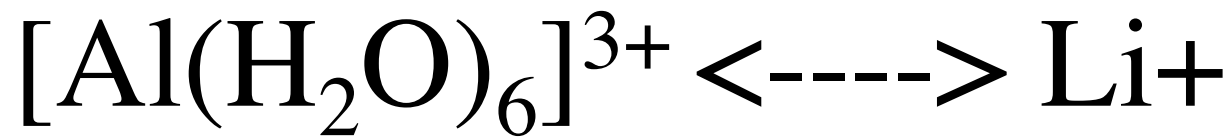


d^{10} : 化合物 (AuCl)

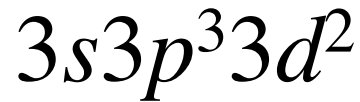


d^8 : 化合物 ($\text{Au}^{\text{III}}\text{Cl}_3 : \text{Au}_2\text{Cl}_6$)





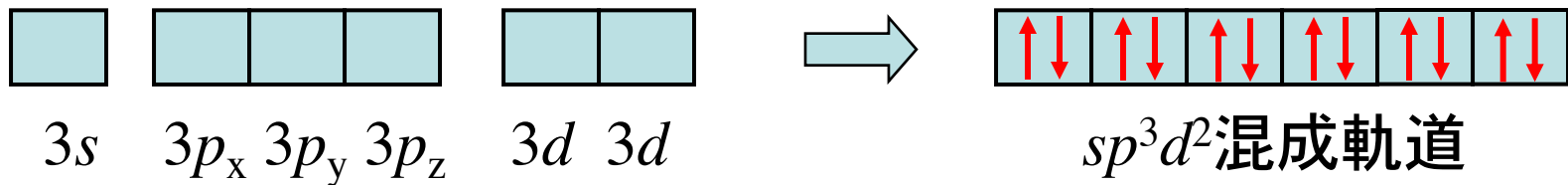
6 配位



色々

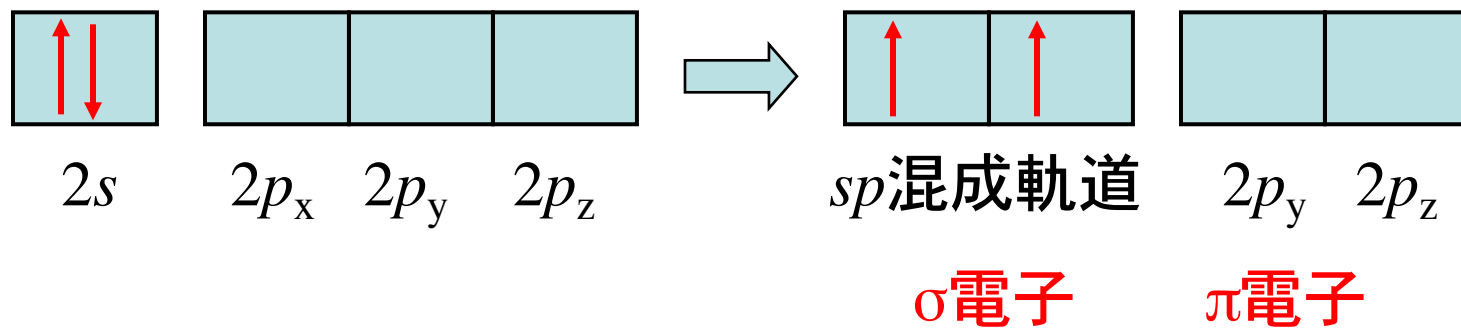
d 殻無

Al^{3+} : sp^3d^2 -Hybridization

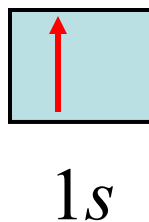




Be : *sp*-Hybridization

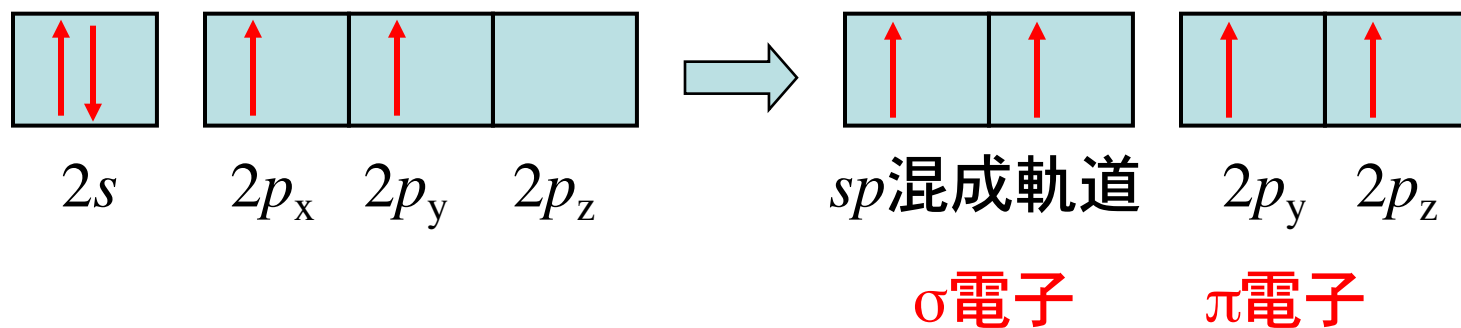


H : atomic orbital

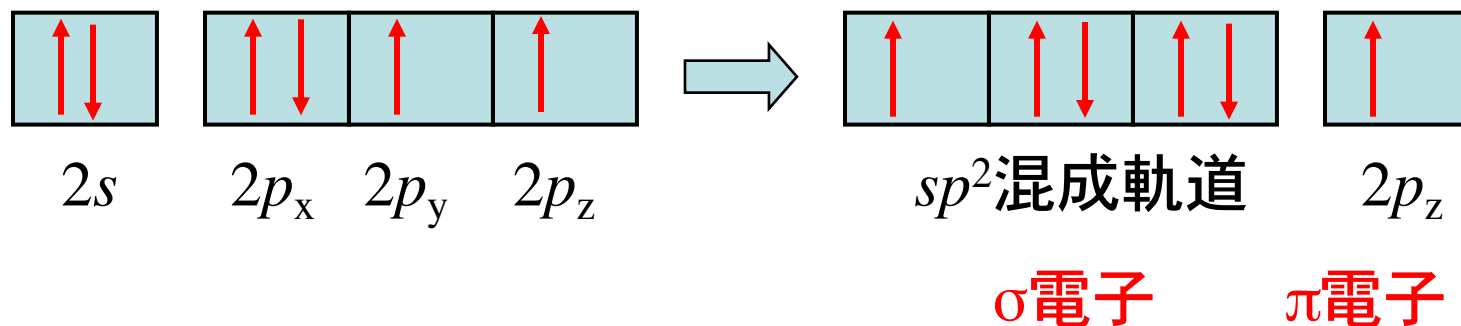




C : sp -Hybridization

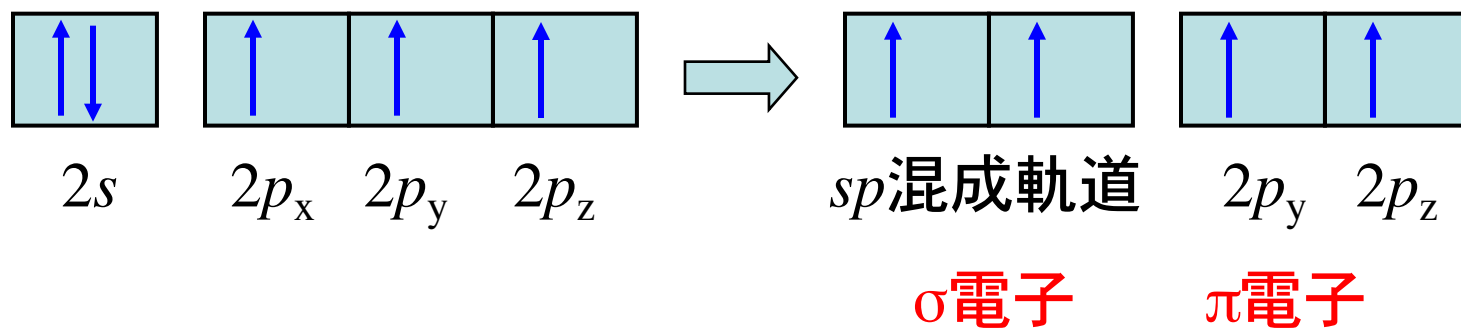


O : sp^2 -Hybridization

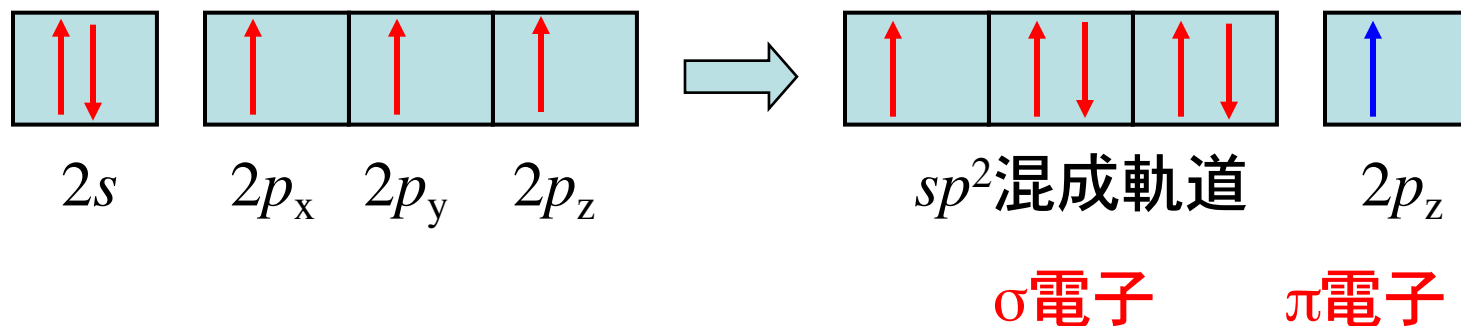


$\text{N}=\text{N}=\text{N}^-$ アジ化物イオン : azide ion

N : sp -Hybridization

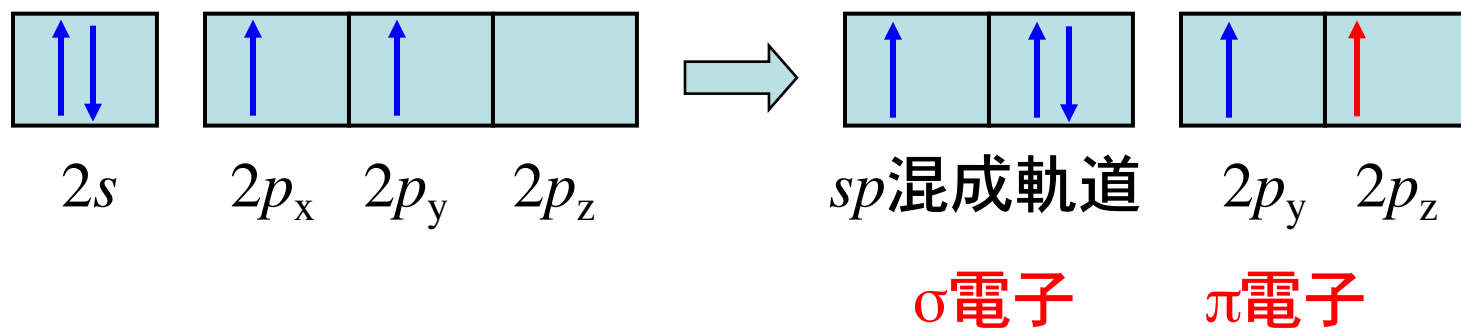


N : sp^2 -Hybridization

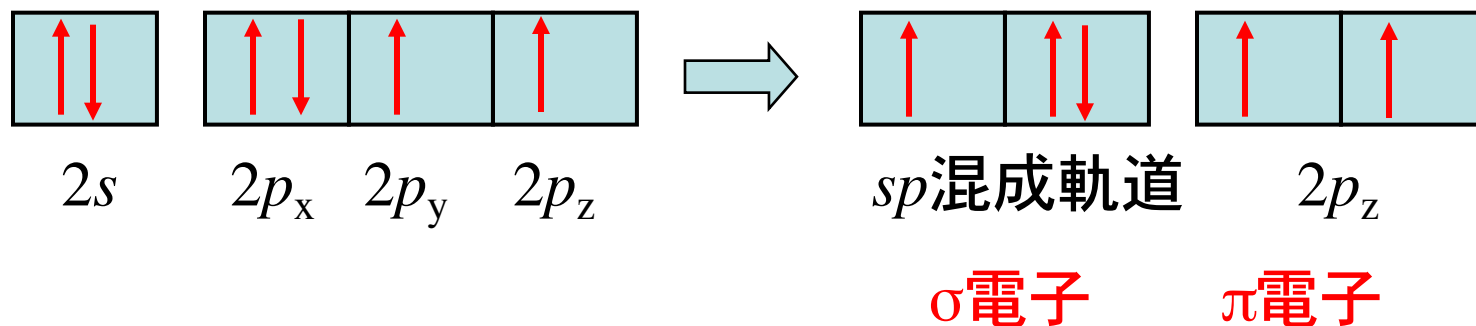


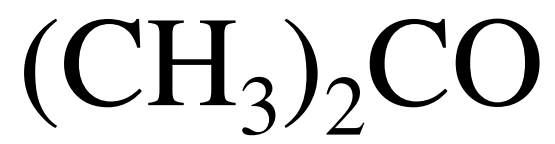


C : sp -Hybridization

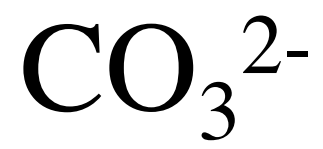


O : sp -Hybridization

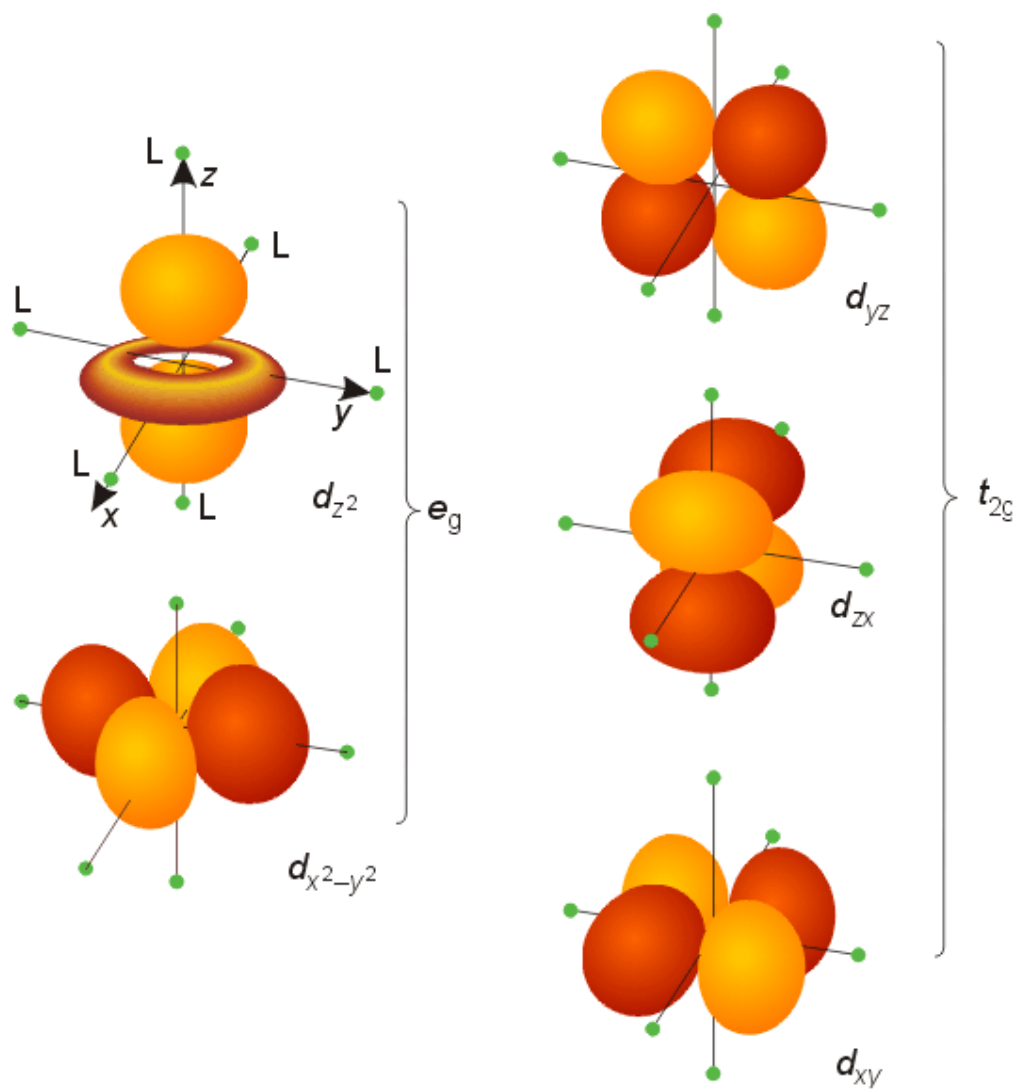


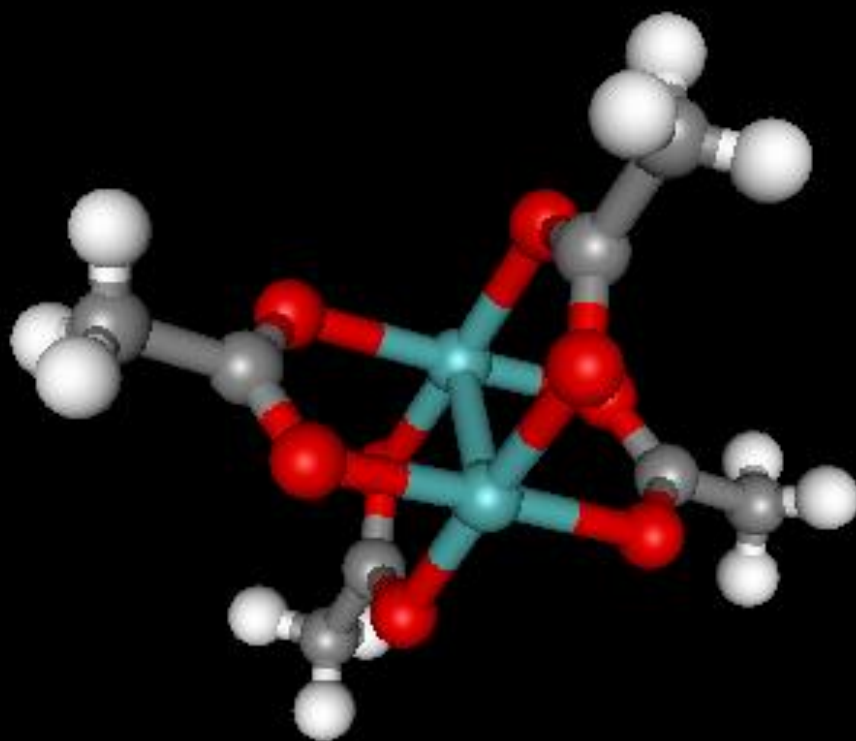


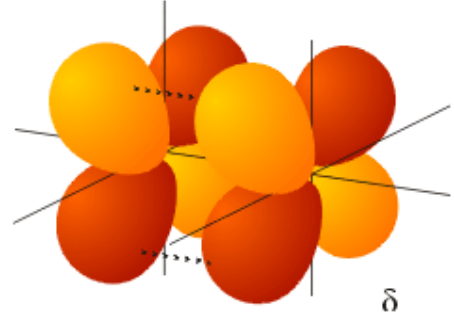
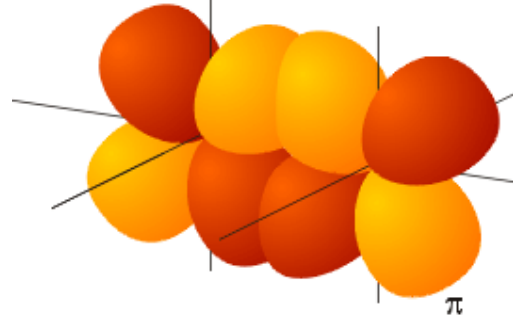
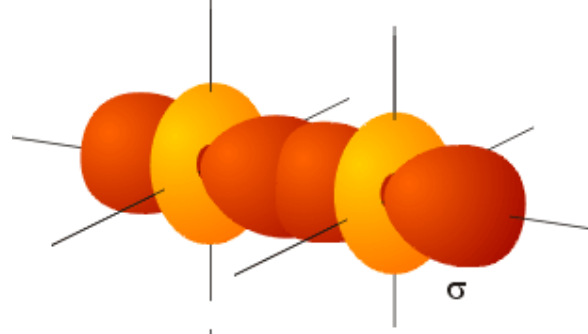
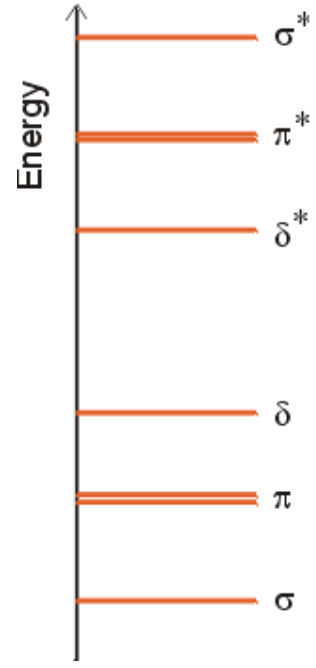












π 結合

配位結合 $N \rightarrow H$

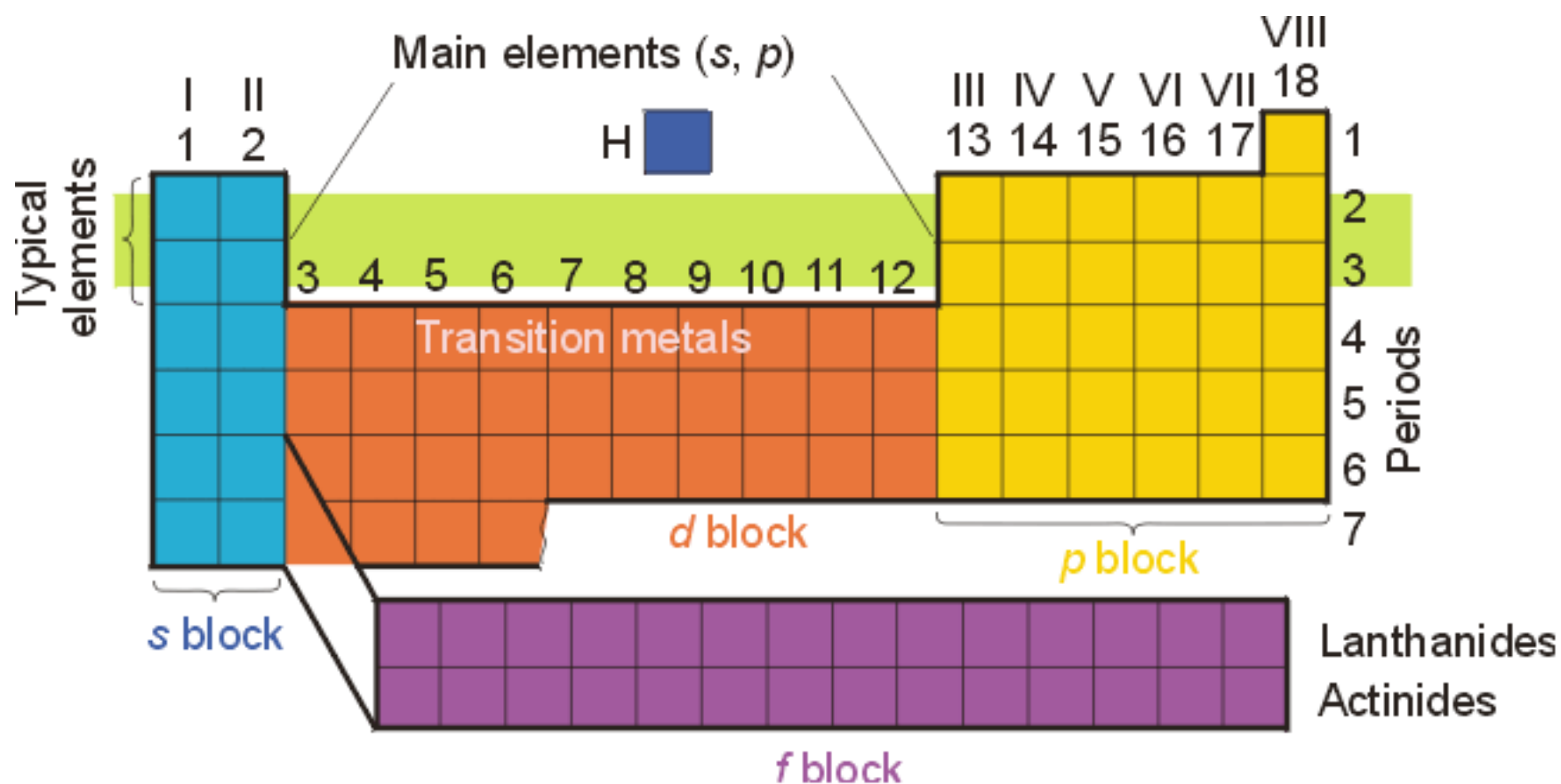
分子軌道論から

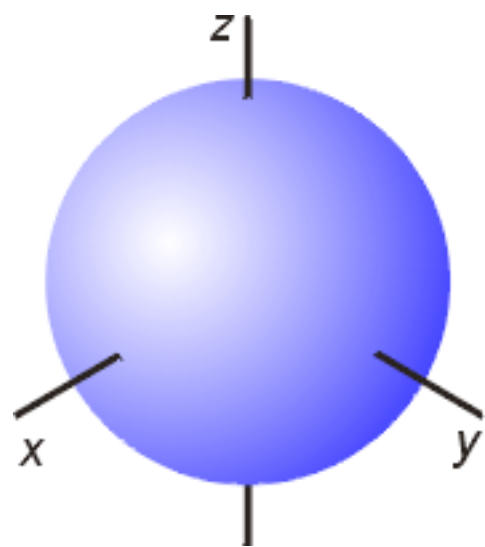
IUPAC Periodic Table of the Elements

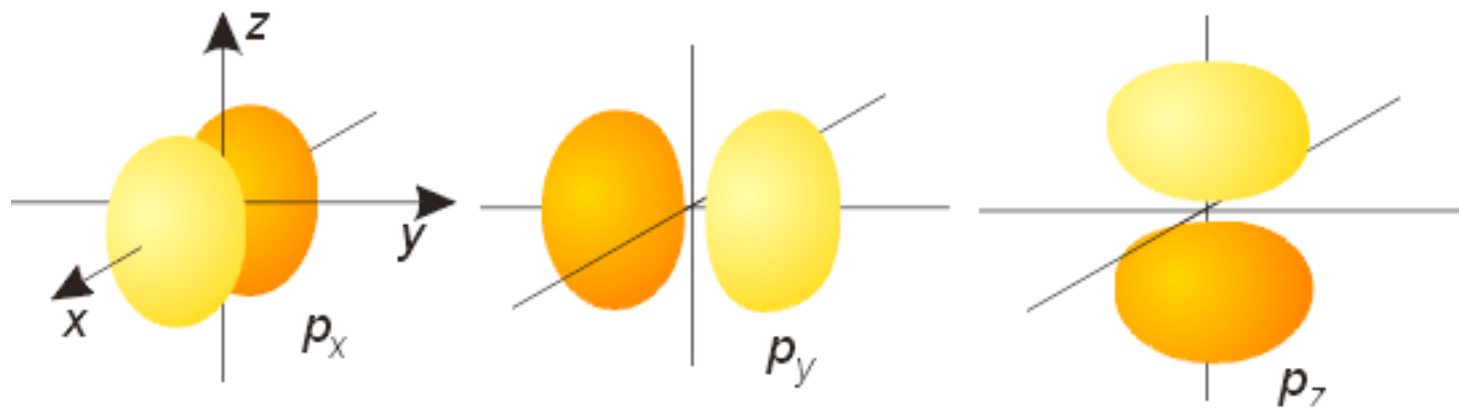
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H hydrogen 1.007 94(7)																	2 He helium 4.002 602(2)
3 Li lithium 6.941(2)	4 Be beryllium 9.012 182(3)											5 B boron 10.811(7)	6 C carbon 12.0107(8)	7 N nitrogen 14.0067(2)	8 O oxygen 15.9994(3)	9 F fluorine 18.998 4032(5)	10 Ne neon 20.1797(6)
11 Na sodium 22.989 770(2)	12 Mg magnesium 24.3050(6)											13 Al aluminium 26.981 538(2)	14 Si silicon 28.0855(3)	15 P phosphorus 30.973 761(2)	16 S sulfur 32.065(5)	17 Cl chlorine 35.453(2)	18 Ar argon 39.948(1)
19 K potassium 39.0983(1)	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.955 910(8)	22 Ti titanium 47.867(1)	23 V vanadium 50.9415(1)	24 Cr chromium 51.9961(6)	25 Mn manganese 54.938 049(9)	26 Fe iron 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933 200(9)	28 Ni nickel 58.6934(2)	29 Cu copper 63.546(3)	30 Zn zinc 65.409(4)	31 Ga gallium 69.723(1)	32 Ge germanium 72.64(1)	33 As arsenic 74.921 60(2)	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine 79.904(1)	36 Kr krypton 83.798(2)
37 Rb rubidium 85.4678(3)	38 Sr strontium 87.62(1)	39 Y yttrium 88.905 85(2)	40 Zr zirconium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906 38(2)	42 Mo molybdenum 95.94(2)	43 Tc technetium [97.9072]	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.905 50(2)	46 Pd palladium 106.42(1)	47 Ag silver 107.8682(2)	48 Cd cadmium 112.411(8)	49 In indium 114.818(3)	50 Sn tin 118.710(7)	51 Sb antimony 121.760(1)	52 Te tellurium 127.60(3)	53 I iodine 126.904 47(3)	54 Xe xenon 131.293(6)
55 Cs caesium 132.905 45(2)	56 Ba barium 137.327(7)	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantalum 180.9479(1)	74 W tungsten 183.84(1)	75 Re rhenium 186.207(1)	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.217(3)	78 Pt platinum 195.078(2)	79 Au gold 196.966 55(2)	80 Hg mercury 200.59(2)	81 Tl thallium 204.3833(2)	82 Pb lead 207.2(1)	83 Bi bismuth 208.980 38(2)	84 Po polonium [208.9824]	85 At astatine [209.9871]	86 Rn radon [222.0176]
87 Fr francium [223.0197]	88 Ra radium [226.0254]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261.1088]	105 Db dubnium [262.1141]	106 Sg seaborgium [266.1219]	107 Bh bohrium [264.12]	108 Hs hassium [277]	109 Mt meitnerium [268.1388]	110 Ds darmstadtium [269]	111 Uuu unununium [272]	112 Uub ununbium [285]	114 Uuq ununquadium [289]		116 Uuh ununhexium [289]			
			57 La lanthanum 138.9055(2)	58 Ce cerium 140.116(1)	59 Pr praseodymium 140.907 65(2)	60 Nd neodymium 144.24(3)	61 Pm promethium [144.9127]	62 Sm samarium 150.36(3)	63 Eu europium 151.964(1)	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.925 34(2)	66 Dy dysprosium 162.500(1)	67 Ho holmium 164.930 32(2)	68 Er erbium 167.259(3)	69 Tm thulium 168.934 21(2)	70 Yb ytterbium 173.04(3)	71 Lu lutetium 174.967(1)
			89 Ac actinium [227.0277]	90 Th thorium 232.0381(1)	91 Pa protactinium 231.035 86(2)	92 U uranium 238.028 91(3)	93 Np neptunium [237.0482]	94 Pu plutonium [244.0642]	95 Am americium [243.0614]	96 Cm curium [247.0704]	97 Bk berkelium [247.0703]	98 Cf californium [251.0796]	99 Es einsteinium [252.0830]	100 Fm fermium [257.0951]	101 Md mendelevium [258.0984]	102 No nobelium [259.1010]	103 Lr lawrencium [262.1097]

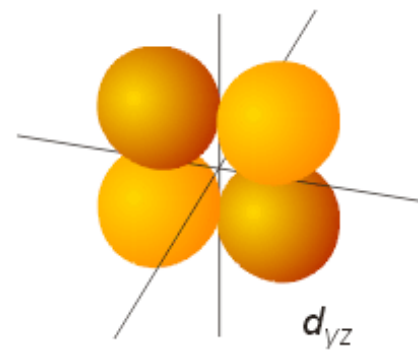
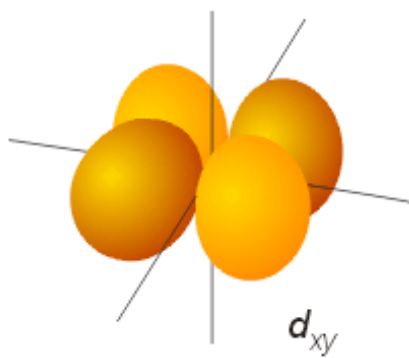
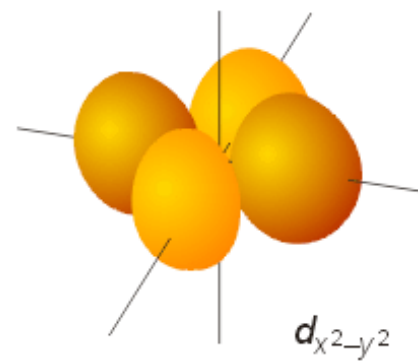
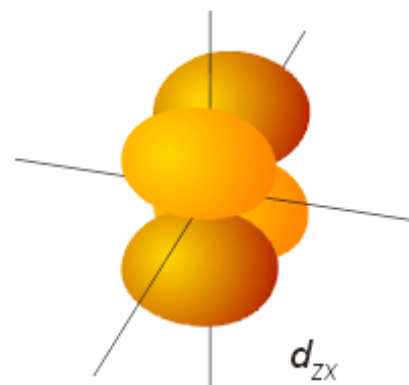
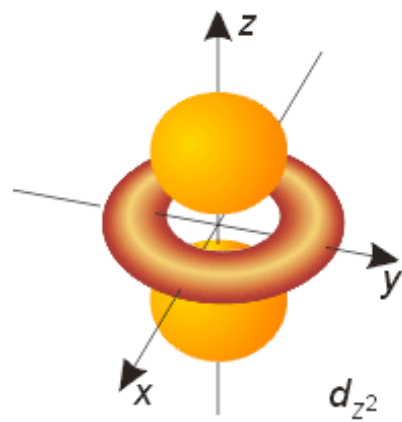
Notes

- IUPAC alternative names or spelling exist for the elements aluminium (aluminum) and caesium (cesium) and, in special circumstances, sodium (natrium), potassium (kalium), iron (ferrum), copper (cuprum), silver (argentum), tin (stannum), antimony (stibium), tungsten (wolfram), gold (aurum), mercury (hydrargyrum), and lead (plumbum).
- Relative atomic masses ('atomic weights') of elements with no IUPAC assigned standard values are listed between square brackets. IUPAC 2001 standard values are given for other elements, with uncertainties in the last figure in parentheses [R. Loss, Pure Appl. Chem. 75, 1107-1122 (2003)].
- Element with atomic number 111 has not yet been named. The IUPAC provisional name is shown.
- Claims for the existence of elements with atomic numbers 112, 114, and 116 have not been recognized by IUPAC as of August 2003.

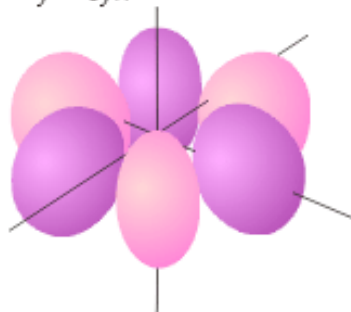




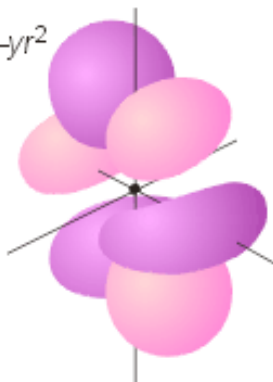




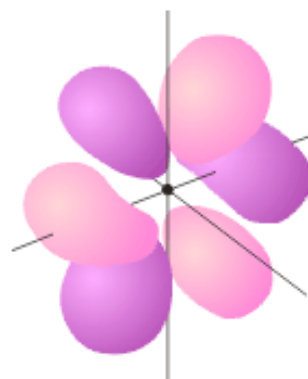
$$4f_{y^3-3yx^2}$$



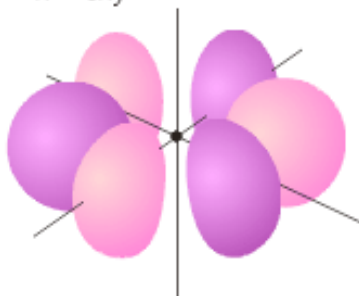
$$4f_{5yz^2-yr^2}$$



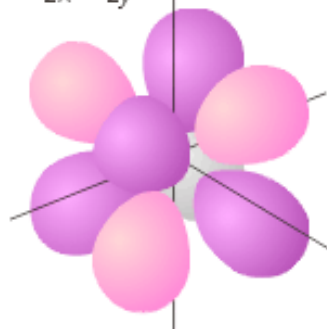
$$4f_{5xz^2-3xr^2}$$



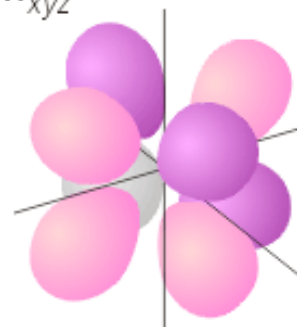
$$4f_{x^3-3xy^2}$$



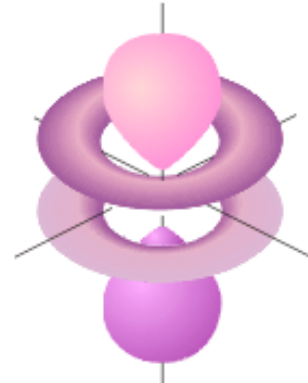
$$4f_{zx^2-zy^2}$$

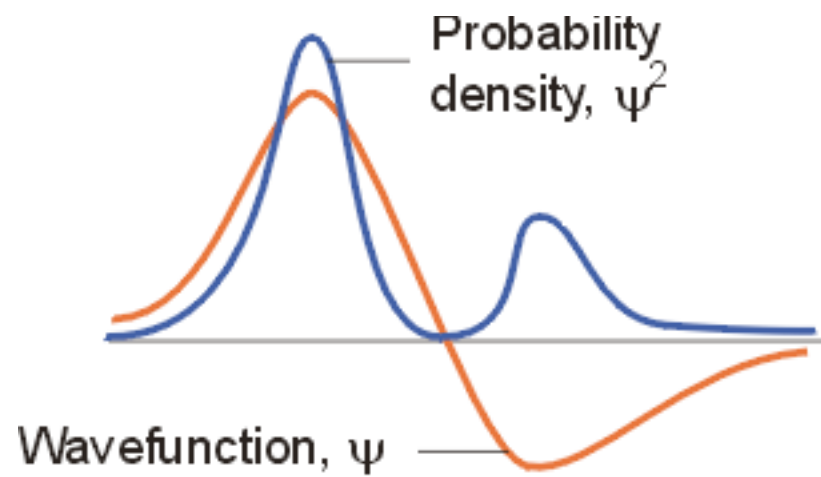


$$4f_{xyz}$$



$$4f_{5z^3-3zr^2}$$





Probability
density

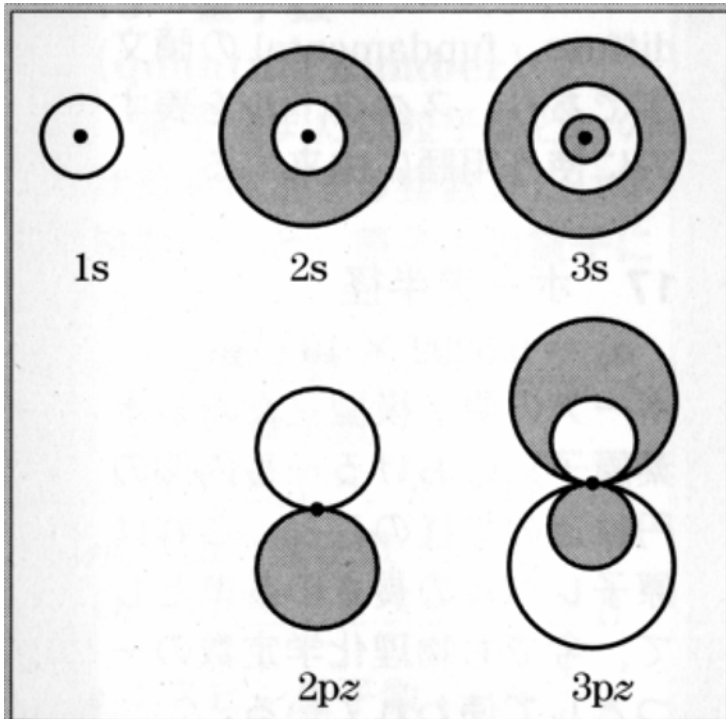
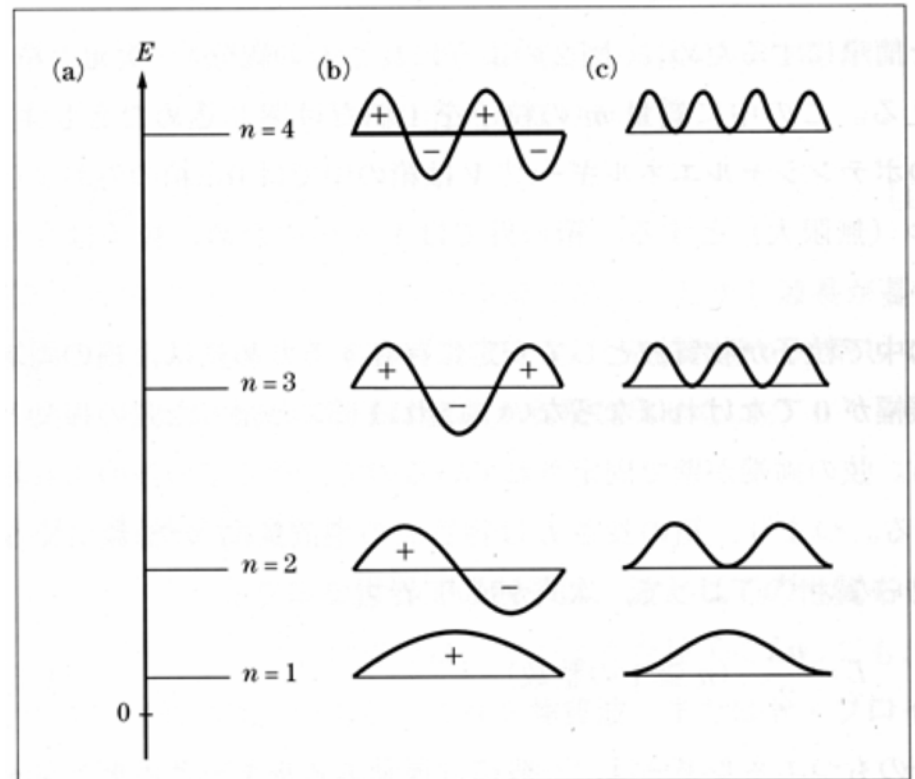


図6 軌道の空間分布の模式図
(白は正、黒は負、中央の黒丸は原子核)



一次元の箱の中の粒子

(a) エネルギー準位, (b) 波動関数 Ψ , (c) 存在密度 $|\Psi|^2$

$$c = v \times \lambda$$

$$E = h \times v = \frac{h \times c}{\lambda}$$

c : 光速、 h : プランク定数
 v : 振動数、 λ : 波長

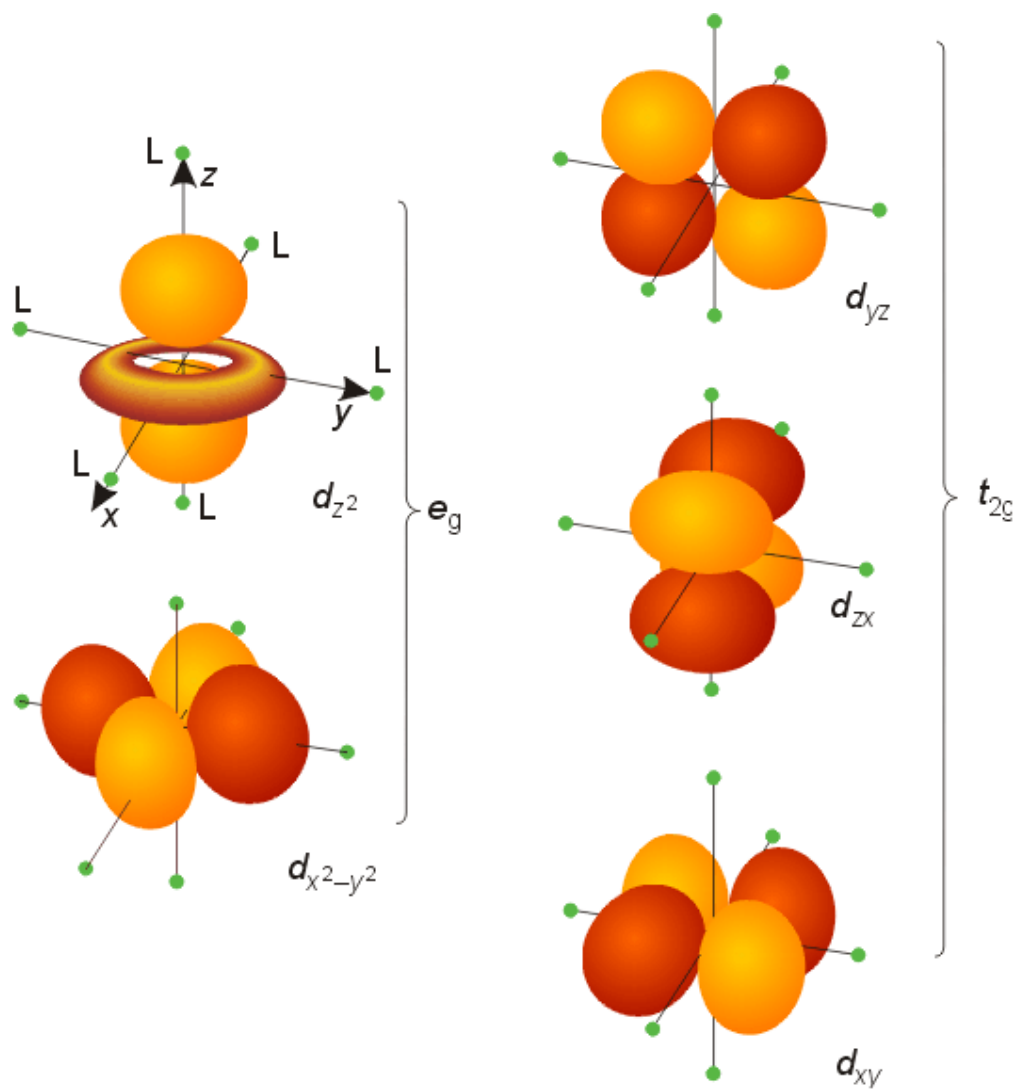
炭素（C）とケイ素（Si）の違い

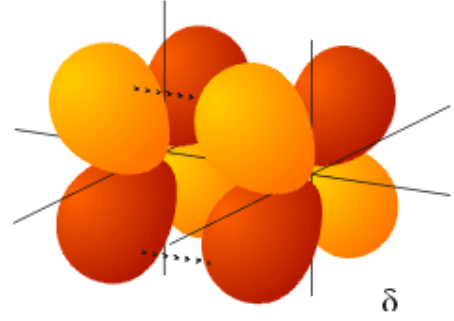
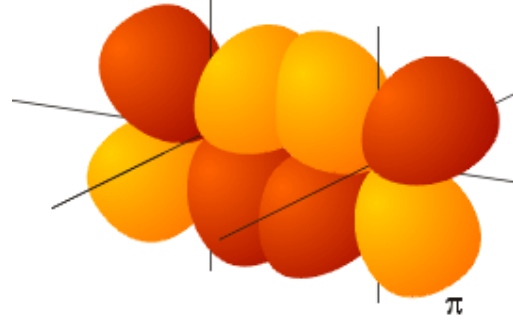
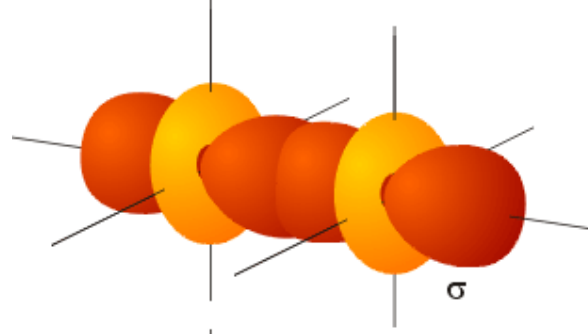
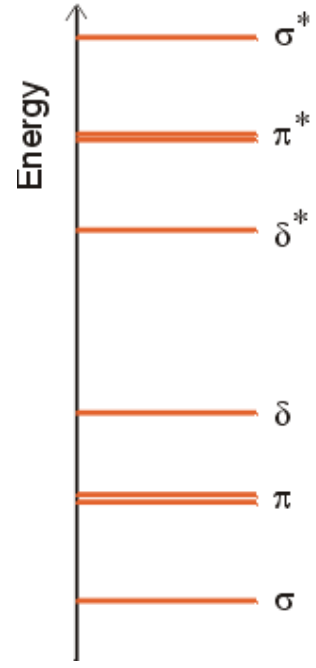
C：多重結合性（二重、三重結合）

Si：単結合（多重結合は希）

C： $(1s)^2(2s)^2(2p)^2$

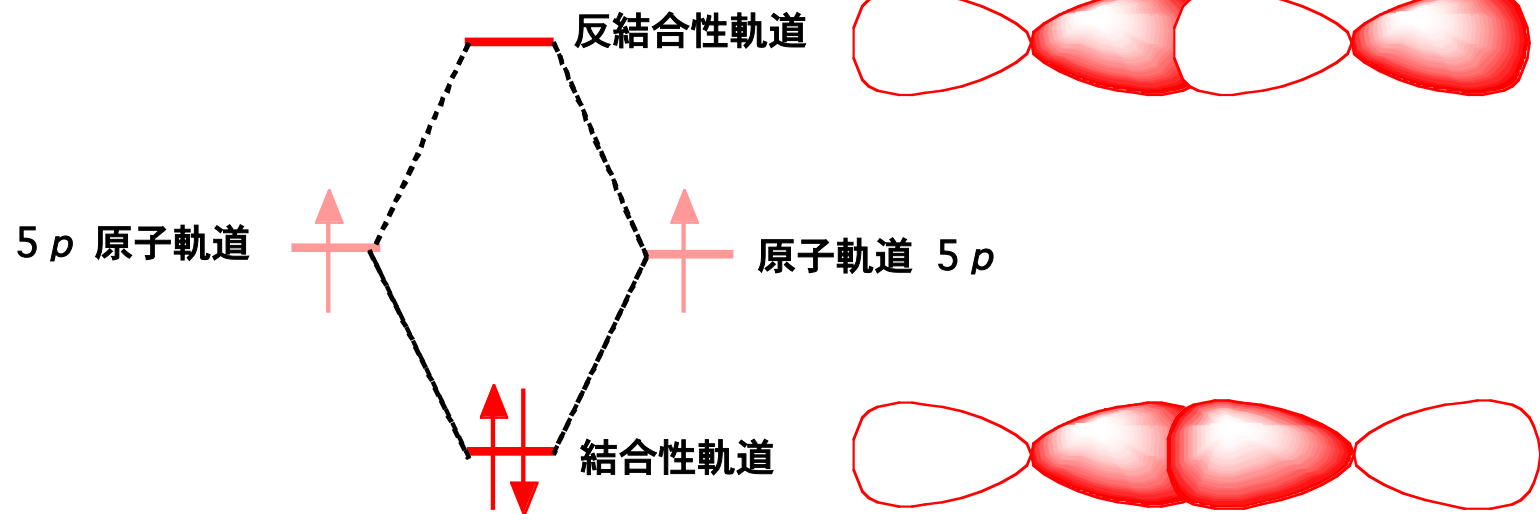
Si： $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^2(3p)^2$





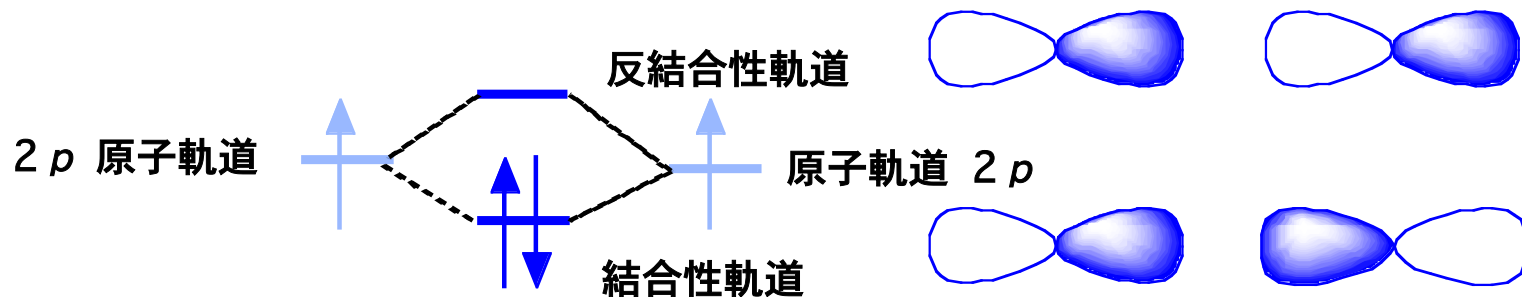
軌道（波動関数）の広がり

共有結合性：大 (I_2)



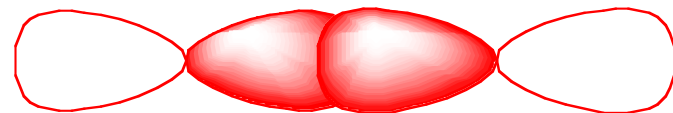
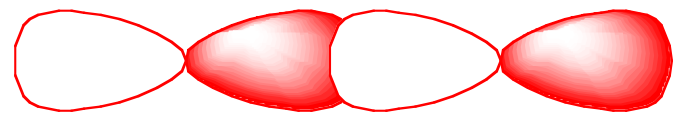
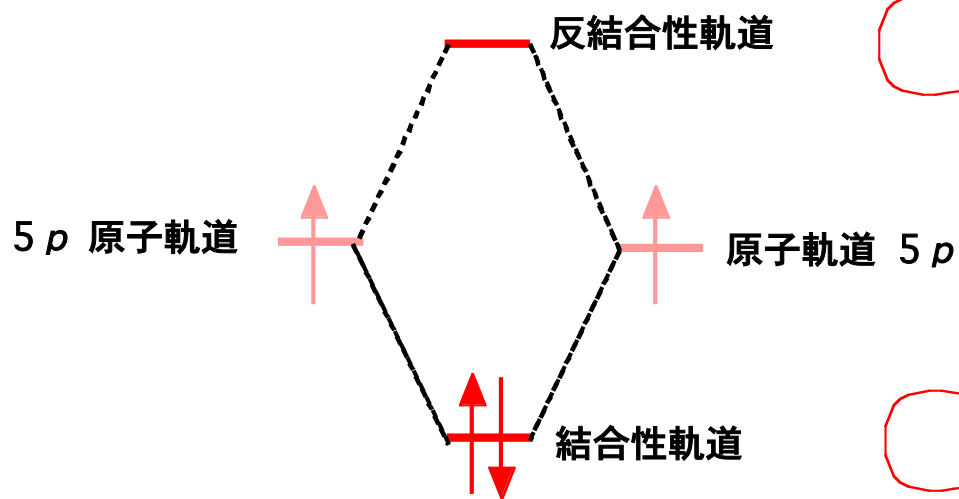
軌道（波動関数）の広がり

共有結合性：小 (F_2)



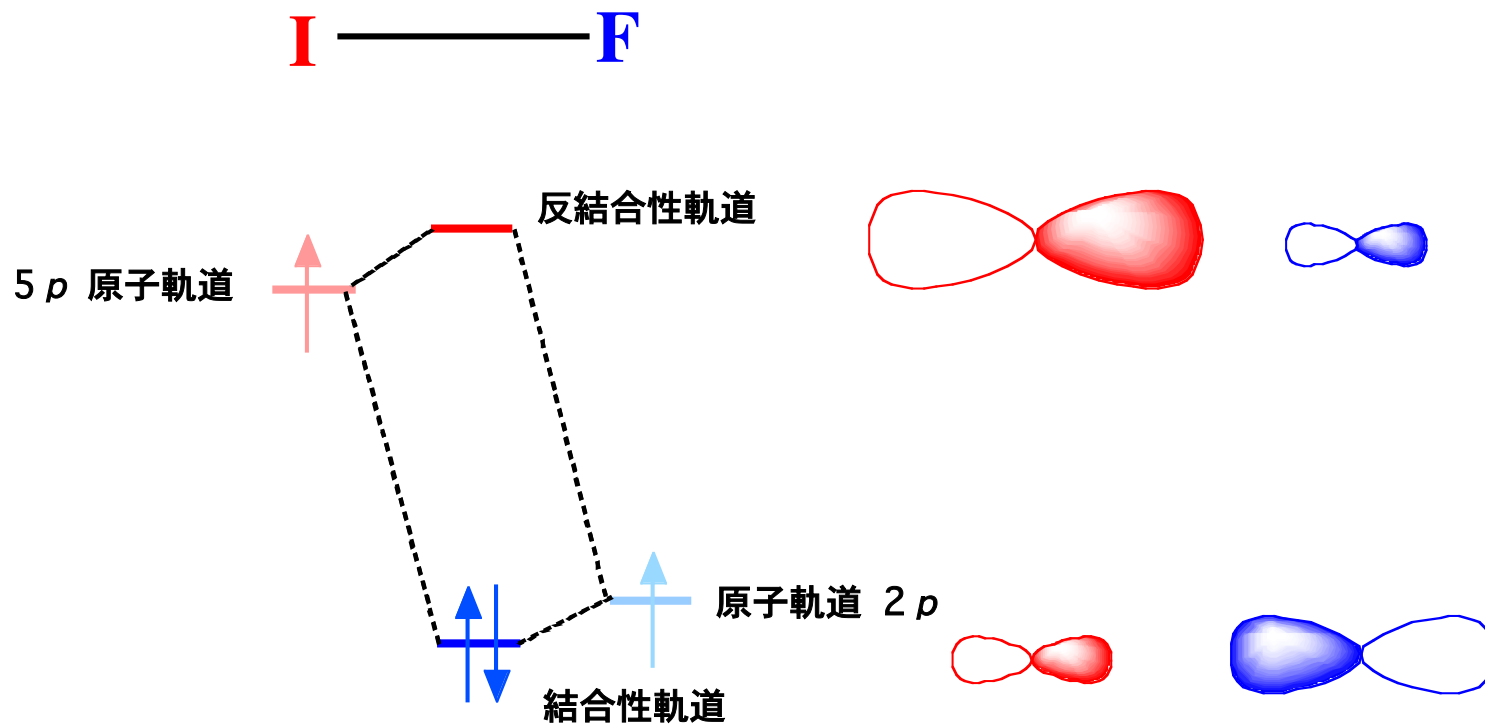
軌道（波動関数）のエネルギー差

共有結合性：大 (I_2)



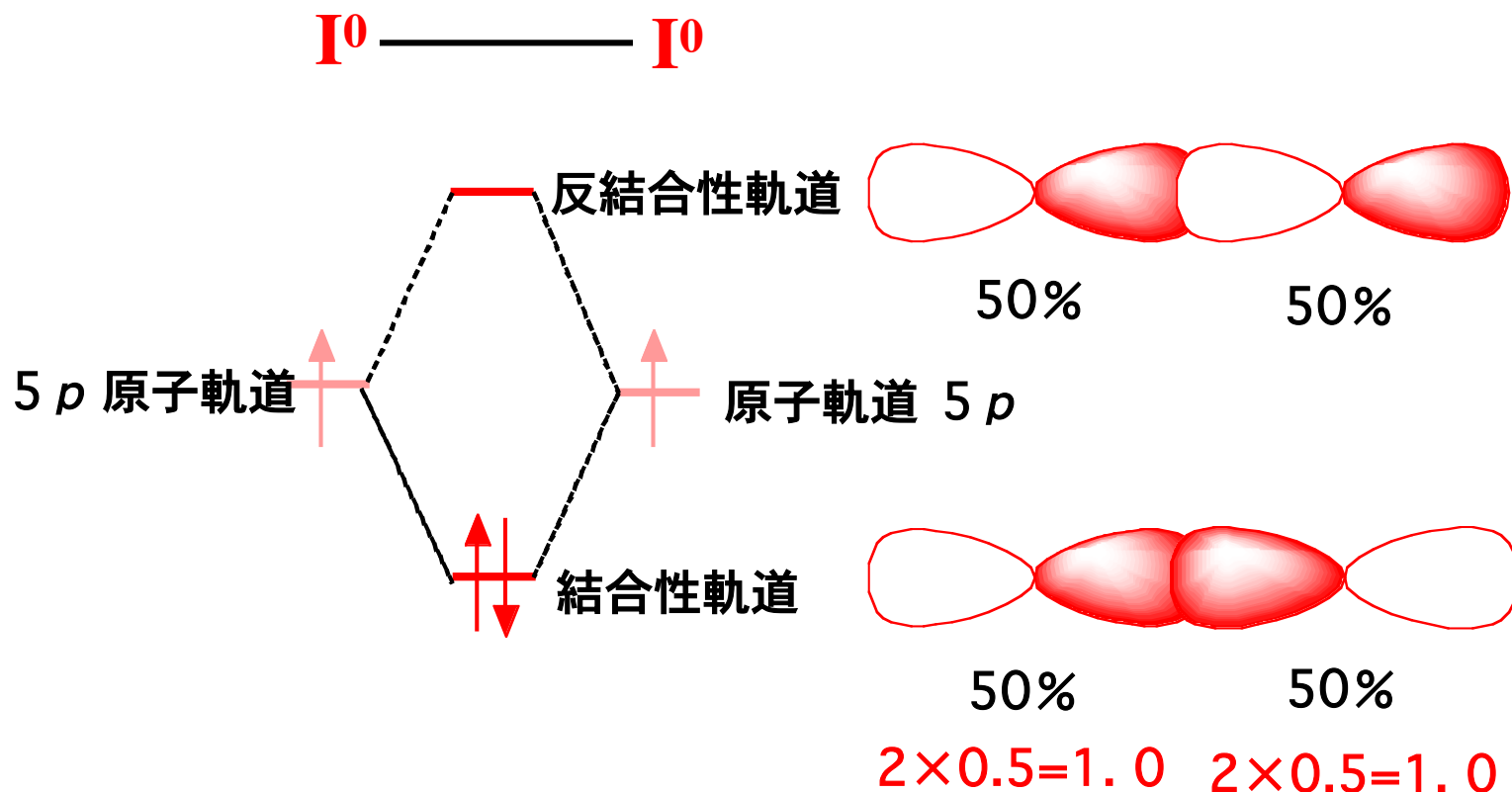
軌道（波動関数）のエネルギー差

共有結合性：小 (I-F)



無極性と極性

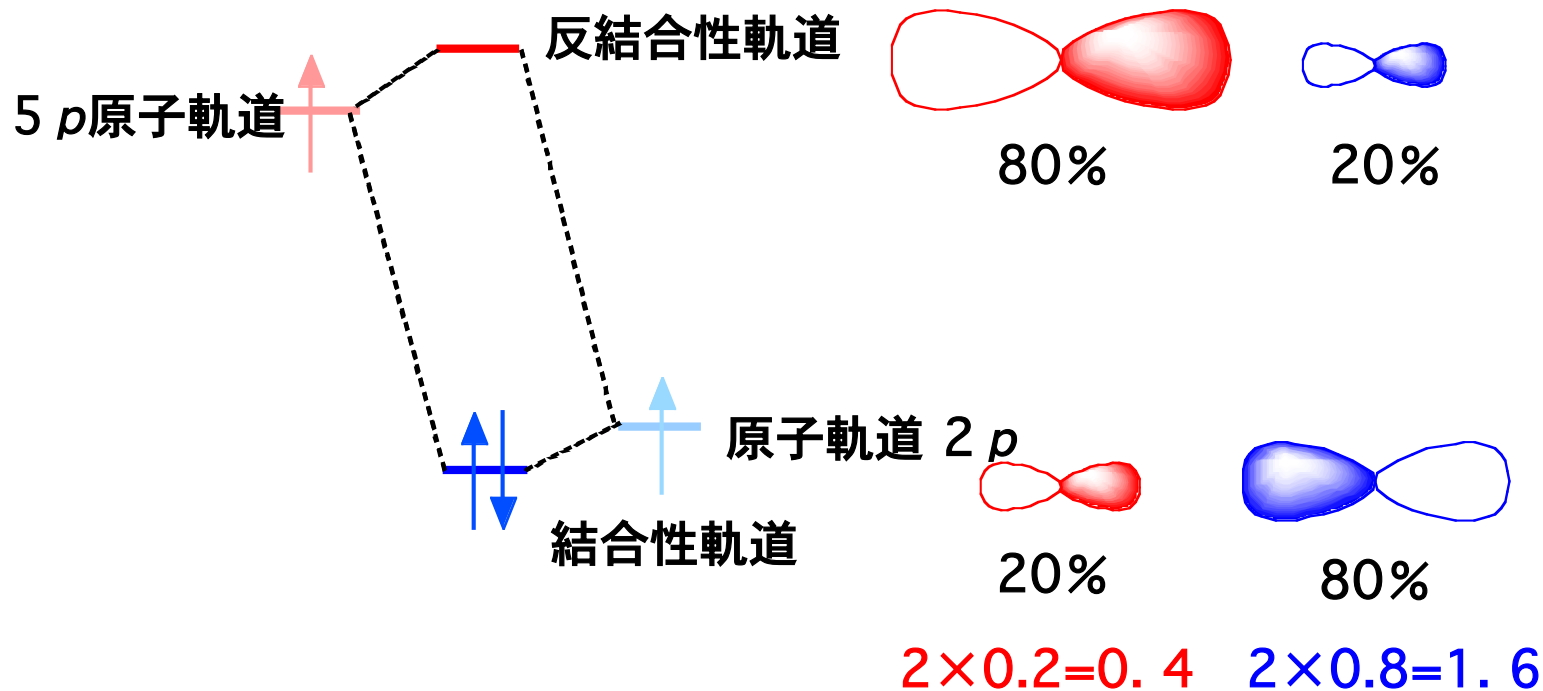
極性：無 (I_2)



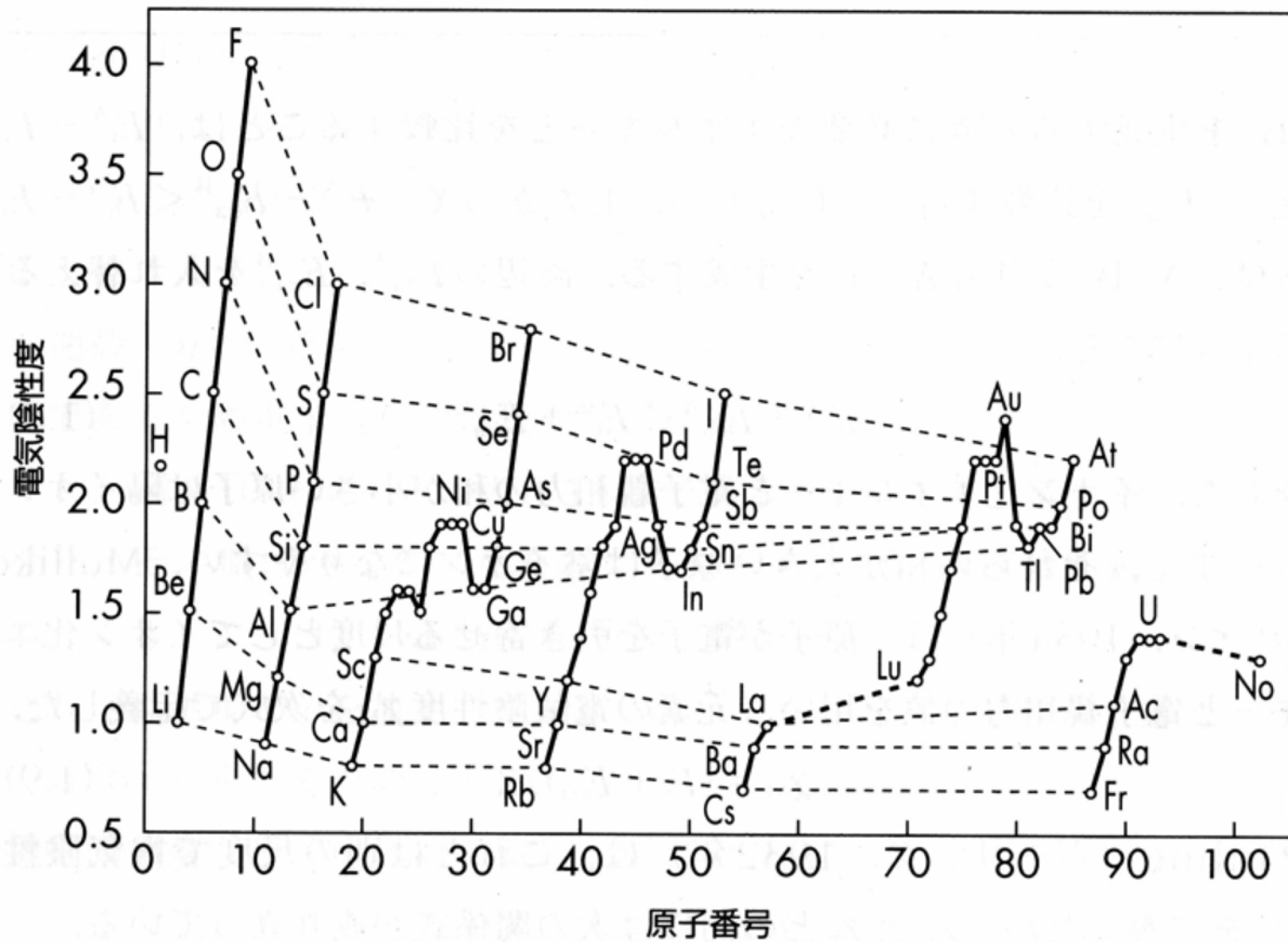
無極性と極性

極性：有 (I-F)

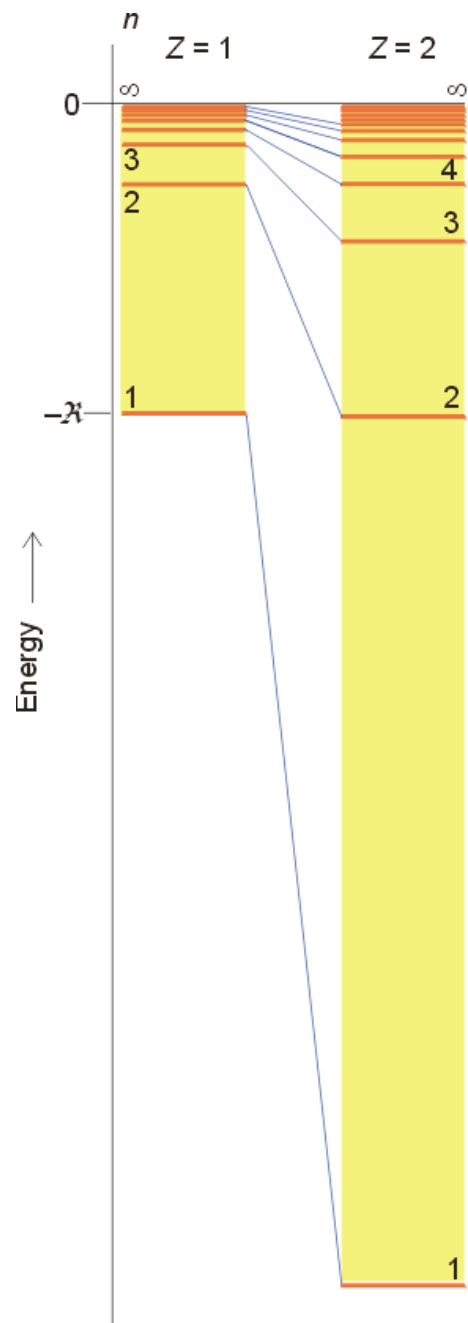
I^{0.6+} ————— F^{0.6-}



原子軌道間のエネルギー差があれば、
結合には必ず極性が生じる



電気陰性度の周期性.



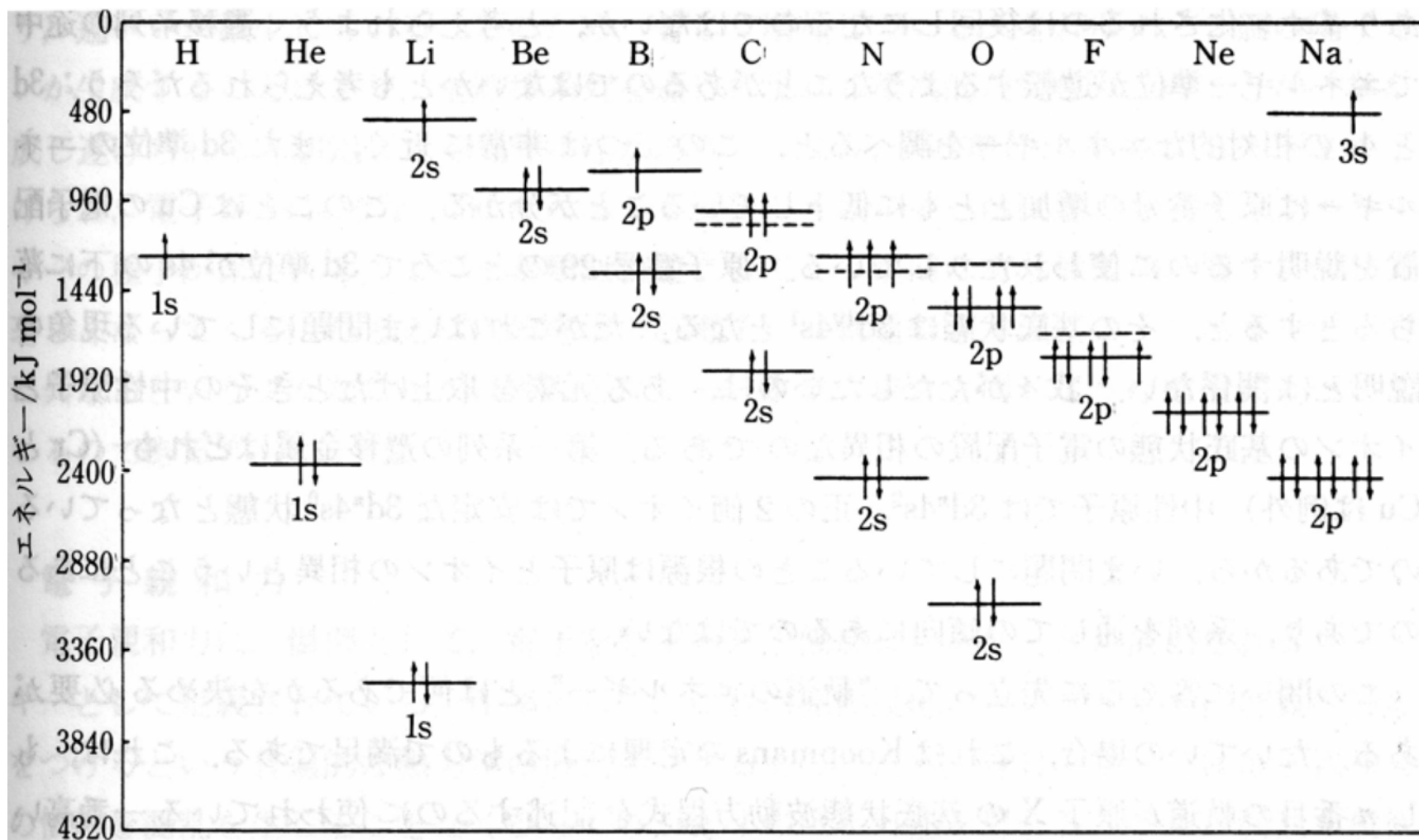
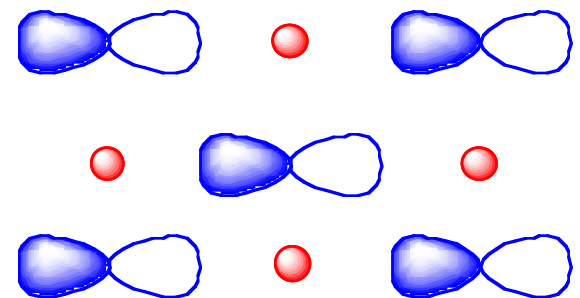
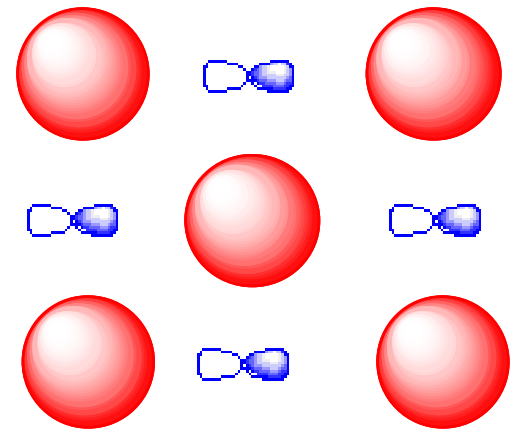
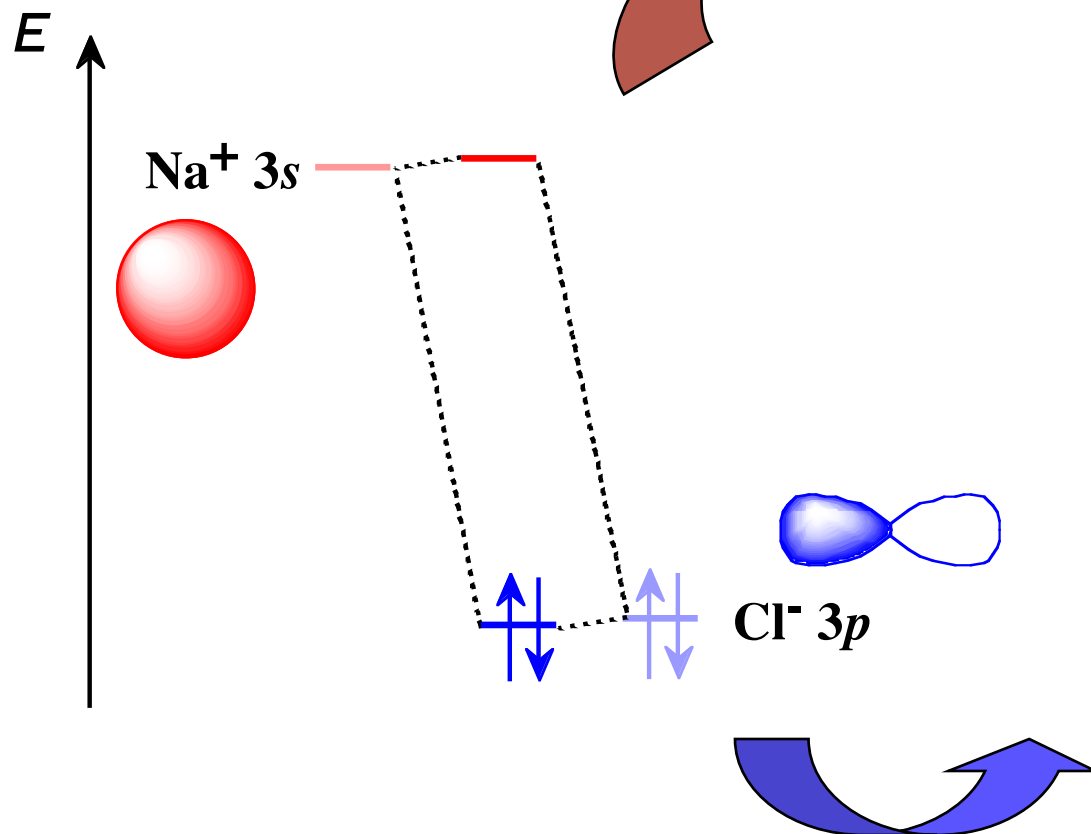
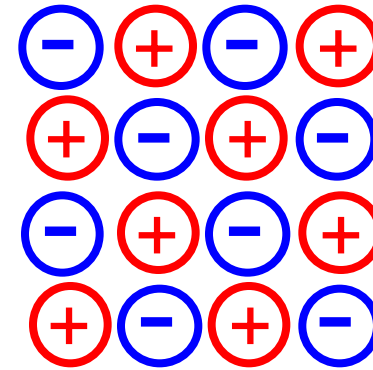
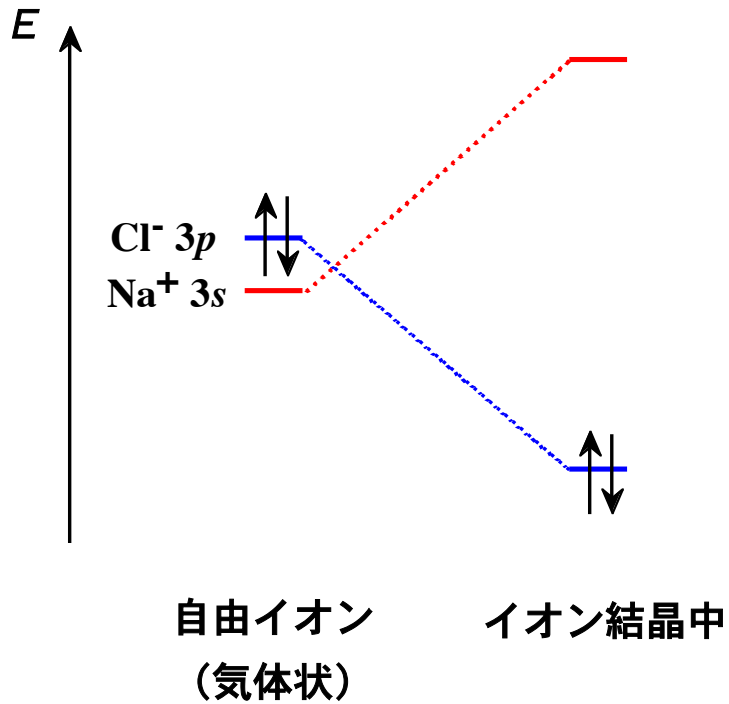


図 2・14 水素からナトリウムまでの軌道エネルギーの相対値。実線は一電子軌道エネルギーを示す。点線は実測されたイオン化エネルギーを示す。後者は電子-電子の相互作用のため実線で示されたものと異なっている

イオン結合：
静電相互作用（クーロン相互作用）



イオン結合：
静電相互作用（クーロン相互作用）



マーデルングポテンシャル

電荷移動相互作用(charge-transfer interaction)とは？

電荷移動錯体(charge-transfer complex; CT complex)

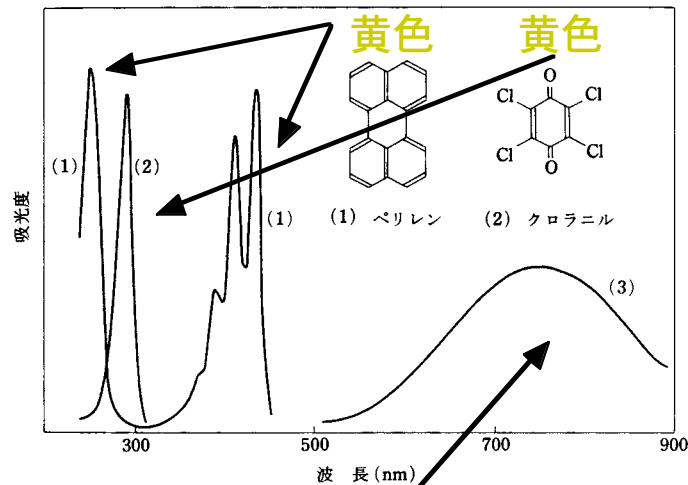


図 3.24 (1) ペリレン, (2) クロラニル, (3) ペリレンとクロラニルの1:1混合物の溶液(溶媒はいずれもクロロホルム)の吸収スペクトル。縦軸の吸光度は吸収ピークの形状を明確にするため任意スケールにしてある。とくに, (3)は吸光係数が小さいので, ほかのものにくらべ, 数十倍に拡大して描いてある。

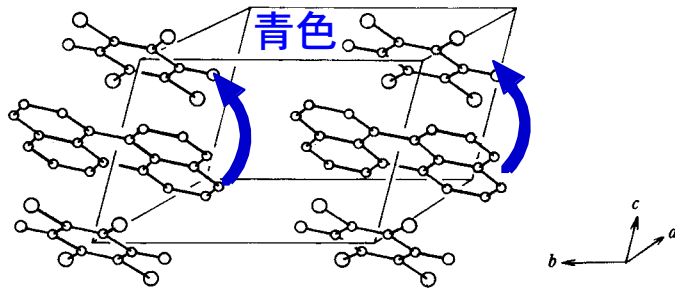
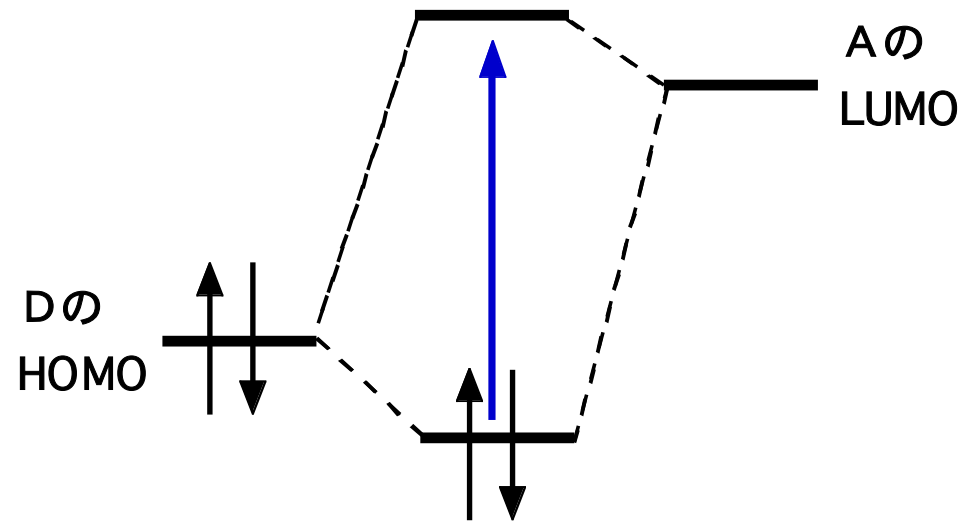


図 3.25 ペリレン-クロラニル錯体(三斜晶系)の結晶構造。c軸(成長軸)方向にペリレン分子とクロラニル分子が交互に積み重なっている。

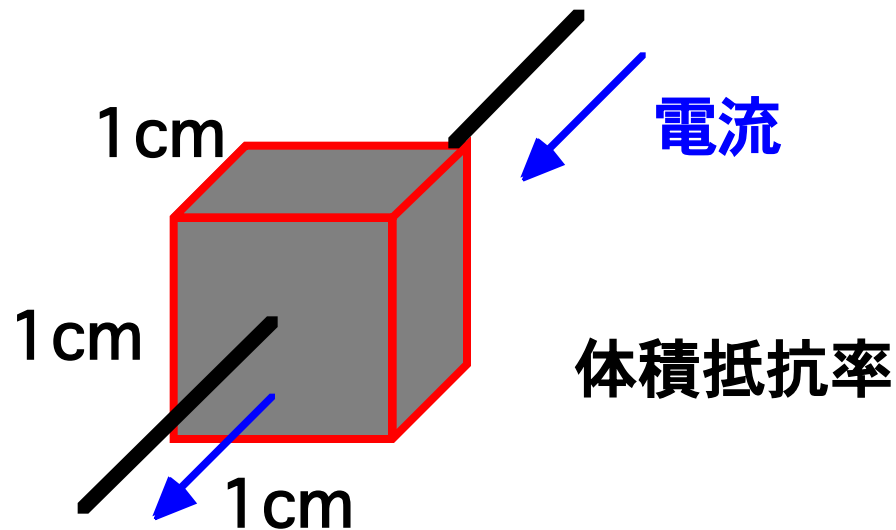
ドナー (D) : 電子供与体 --- ペリレン
アクセプター (A) : 電子受容体 --- クロラニル

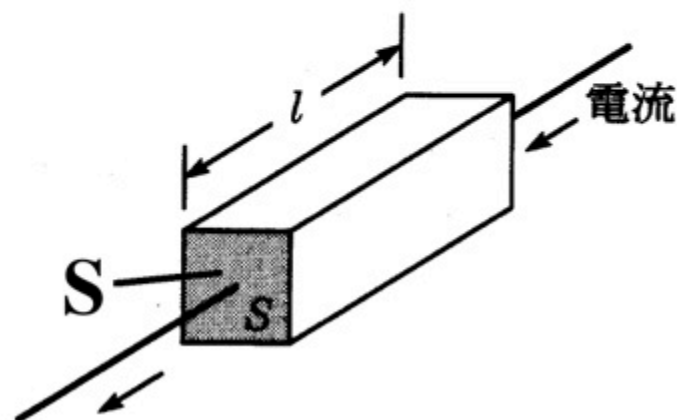
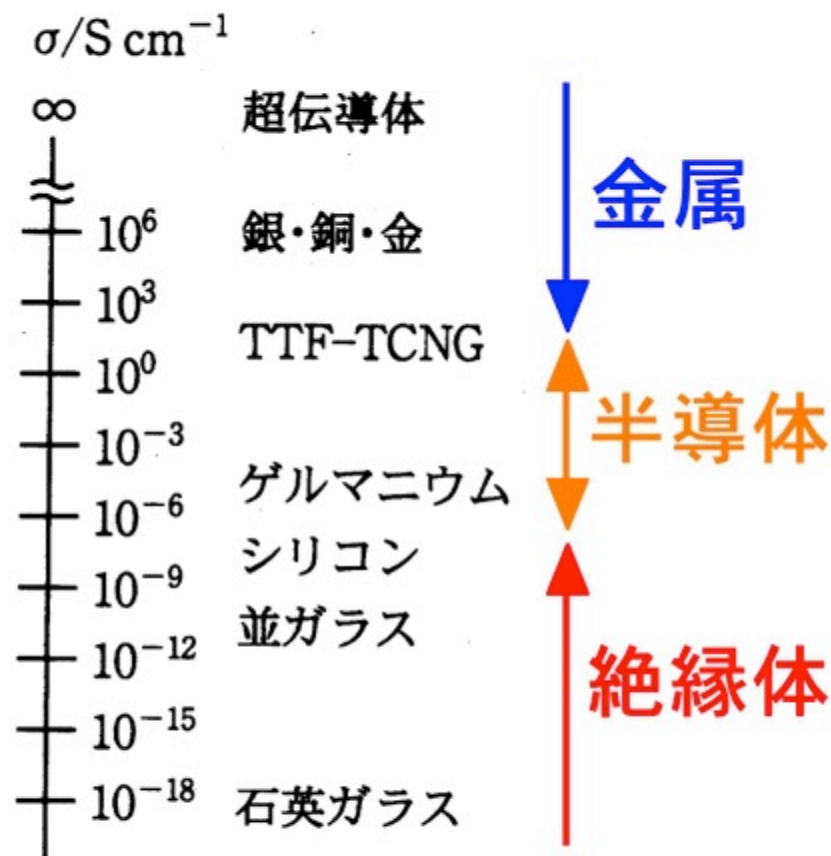


金属(metal)、半導体(semiconductor)、
絶縁体(insulator)とは？

電気抵抗率： ρ ($\Omega \text{ cm}$)

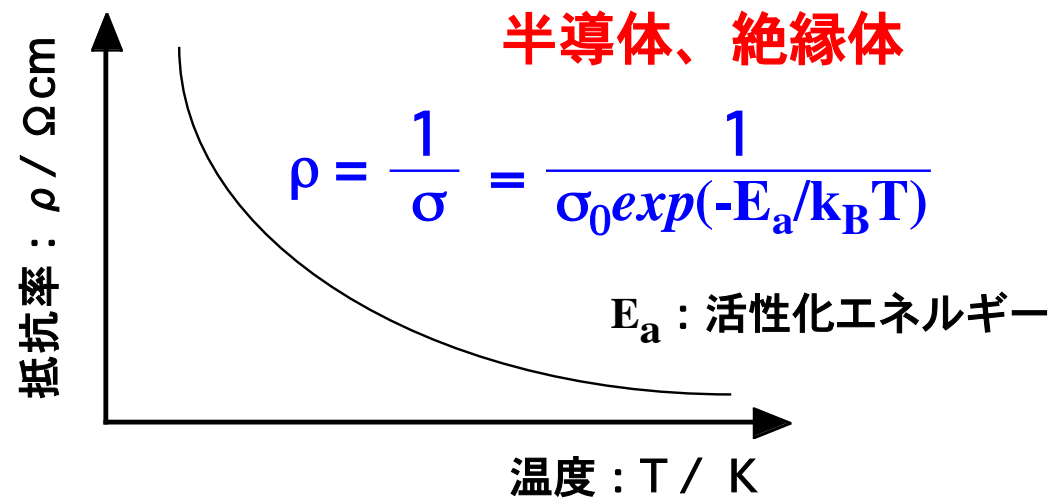
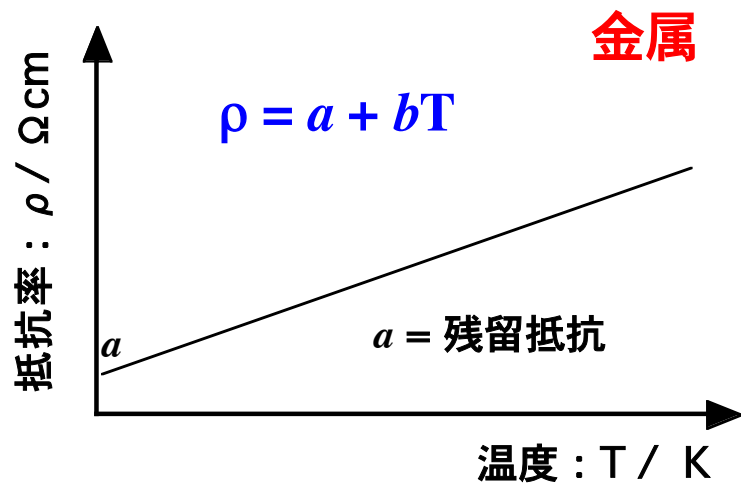
電気伝導度： σ ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} = \text{S cm}^{-1}$) = ρ^{-1}

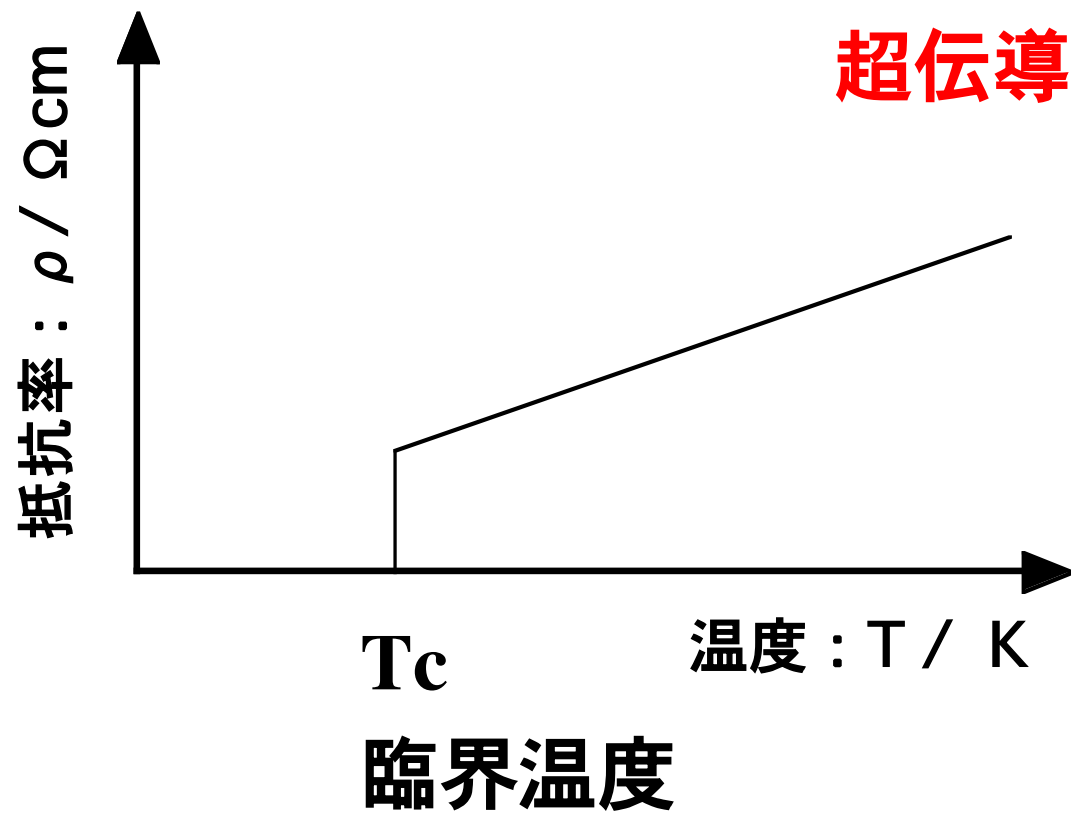


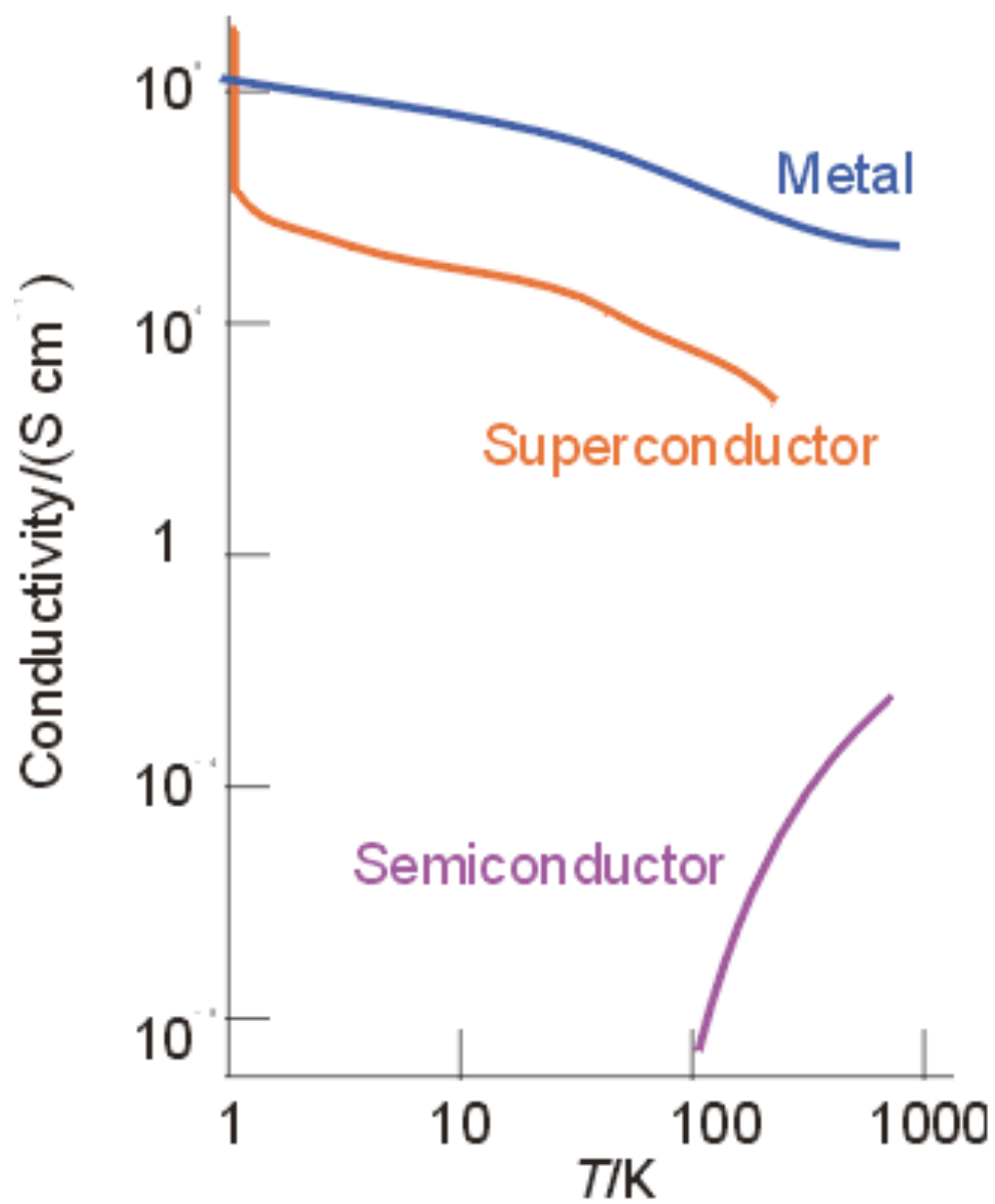


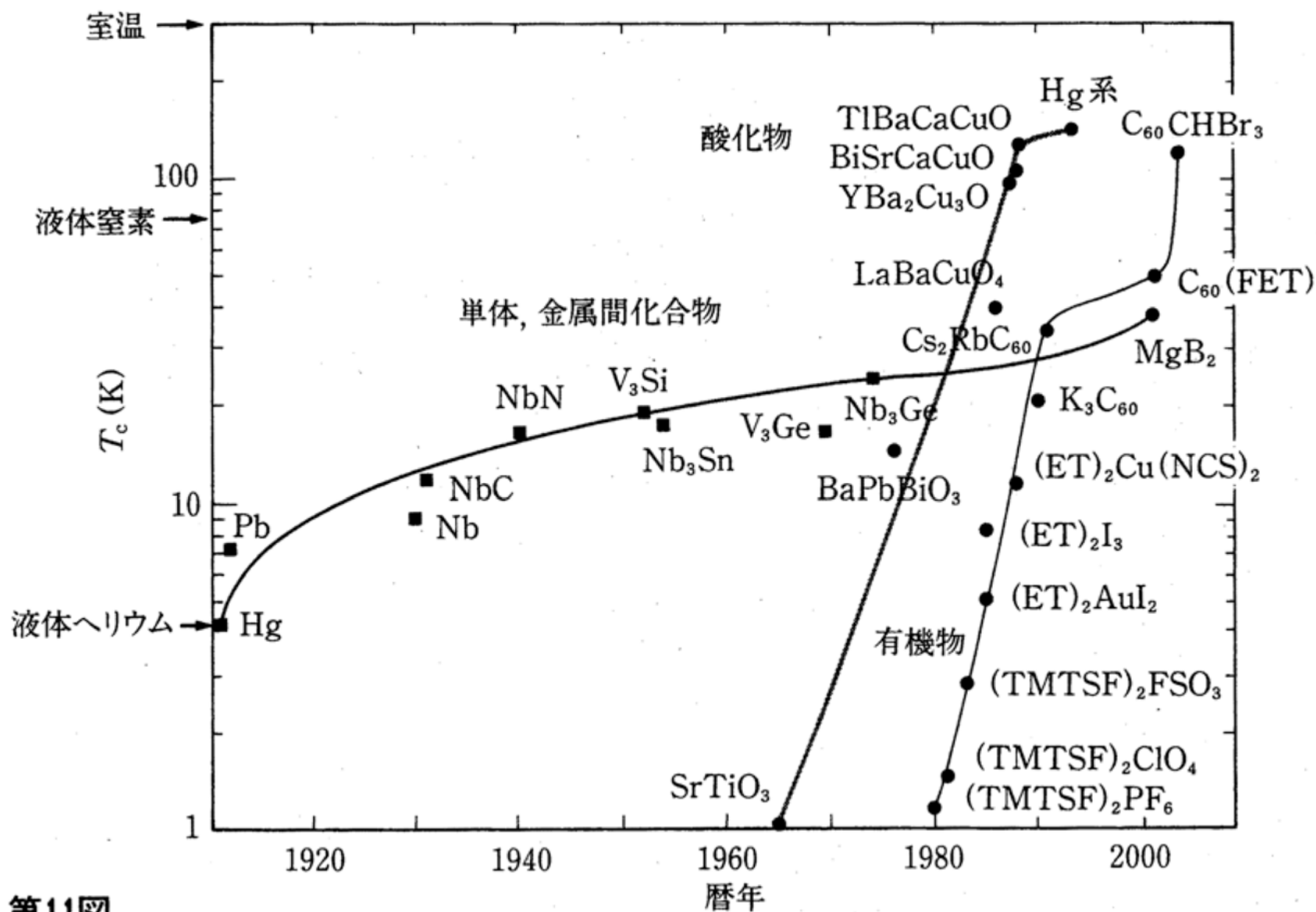
$$\rho = R \times \frac{S}{l}$$

$$= \frac{V}{I} \times \frac{S}{l}$$





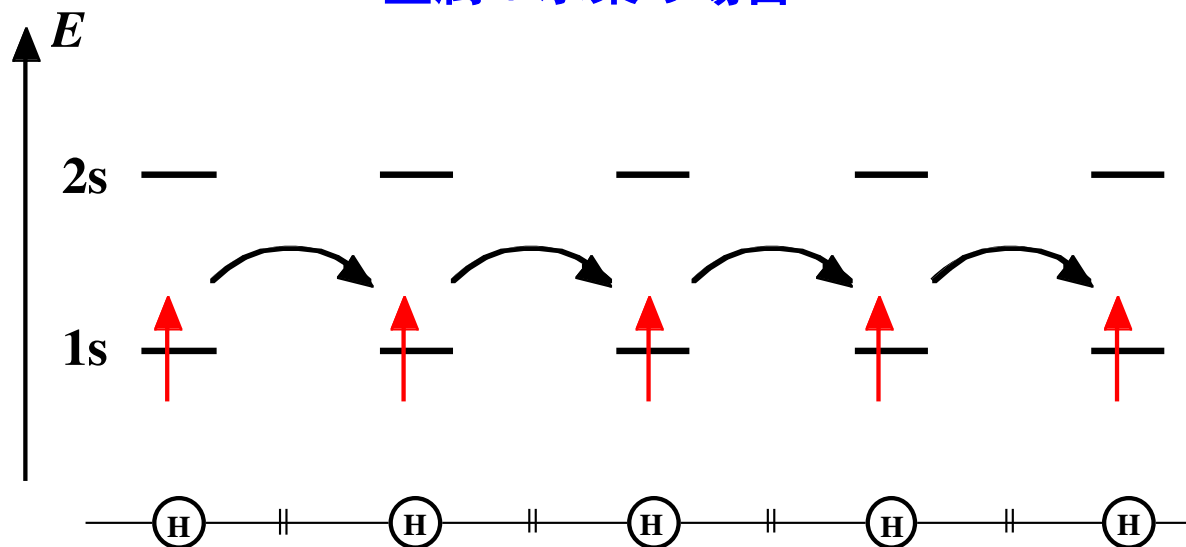




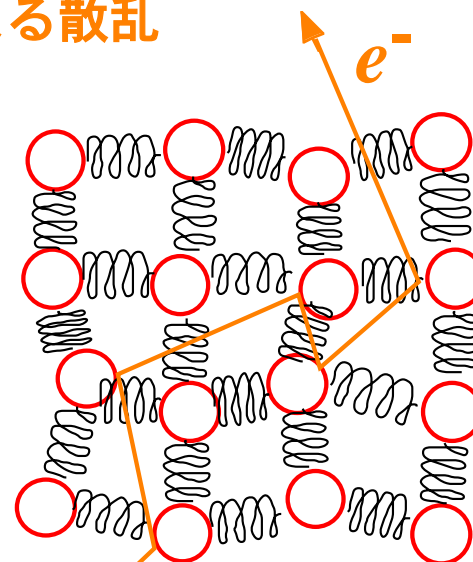
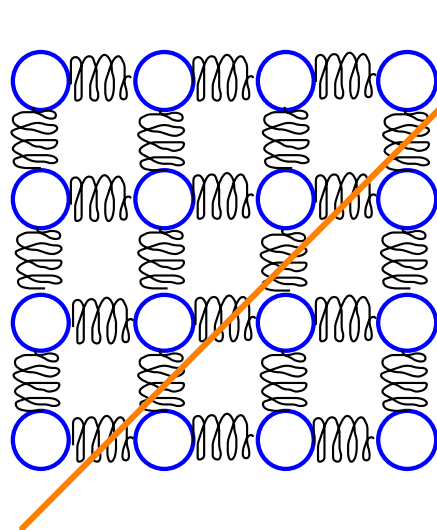
第11図

様々なカテゴリーの物質の超伝導転移温度が年(横軸)とともに上昇する様子。

金属：水素の場合



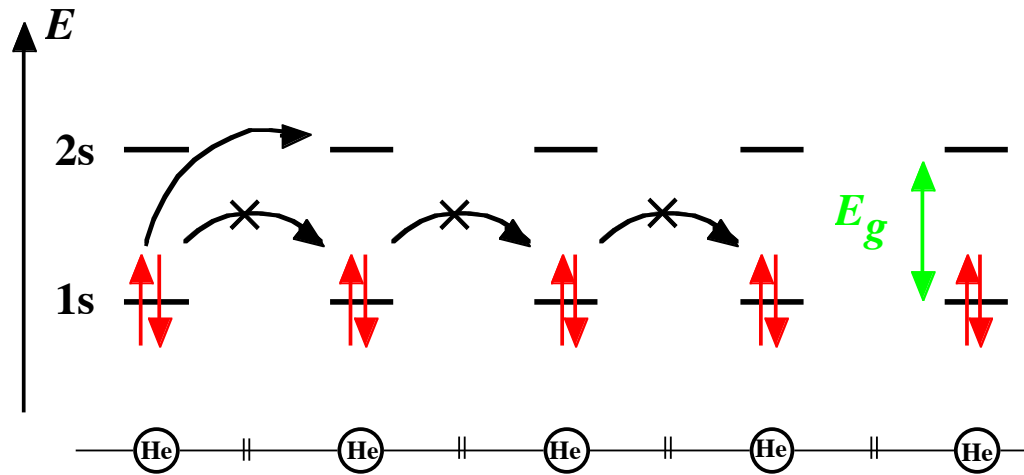
格子振動による散乱



低温 小

高温 大

半導体：ヘリウムの場合



伝導度： $\sigma = n e \mu$

n ：キャリアー数

e ：電気素量

μ ：移動度

E_g の存在：熱活性型

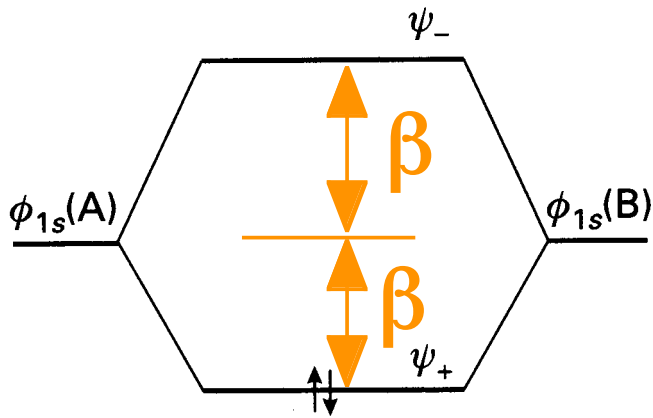
キャリアー数

低温：少

高温：多

バンドとは

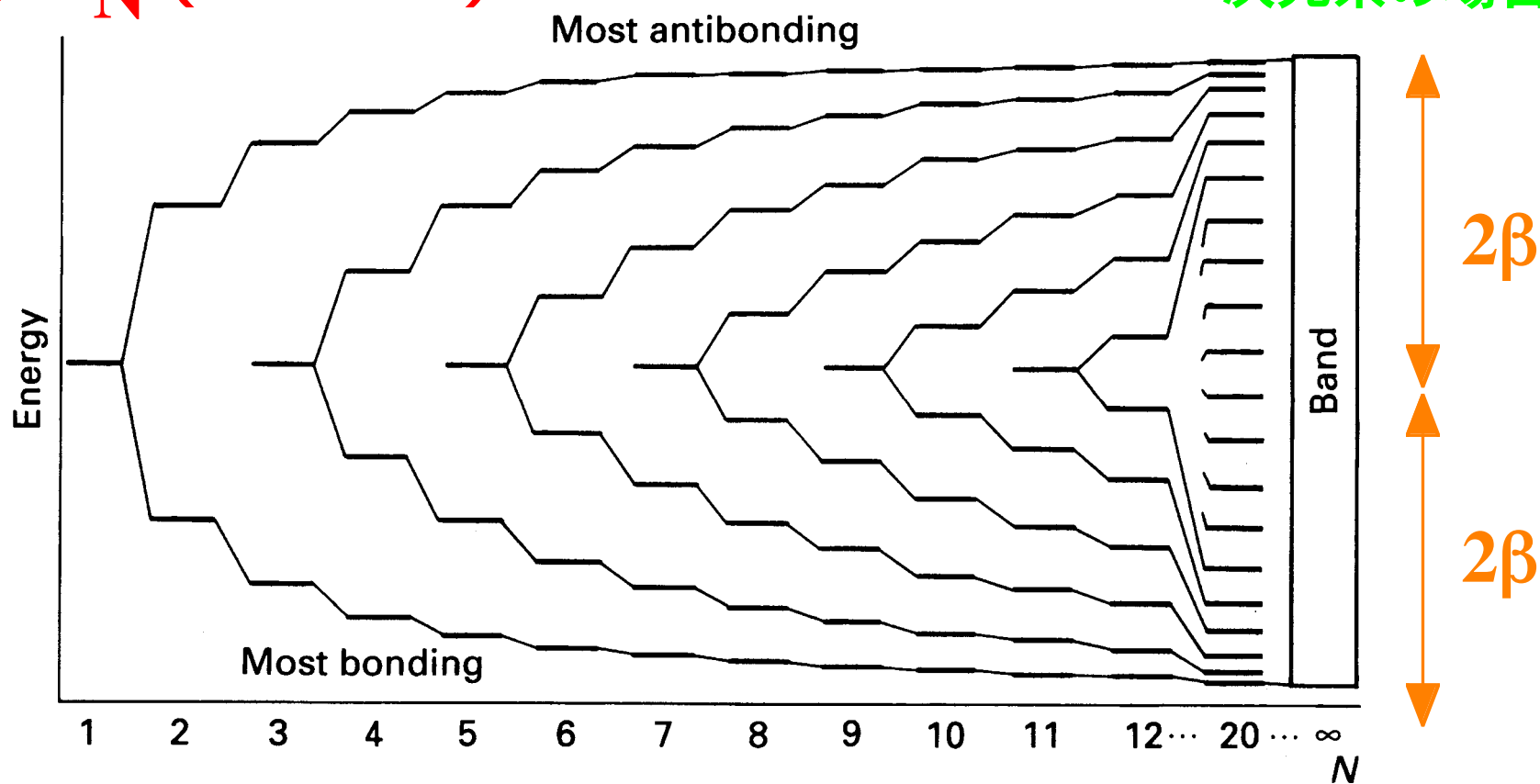
(1) H_2



β : 相互作用(共鳴)積分

(2) H_N ($N=1\sim\infty$)

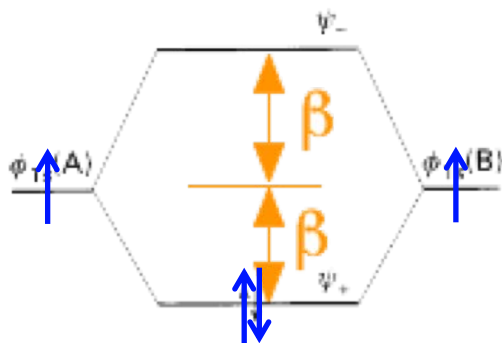
一次元系の場合



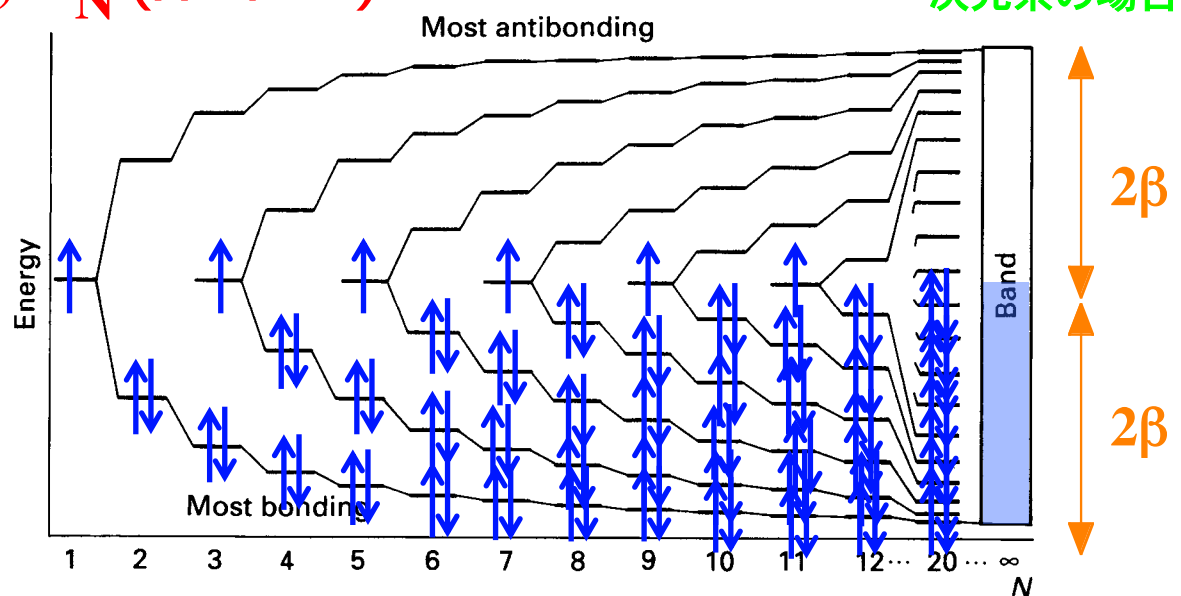
分子軌道と結晶軌道(バンド)

共有結合と金属結合の本質は同じ

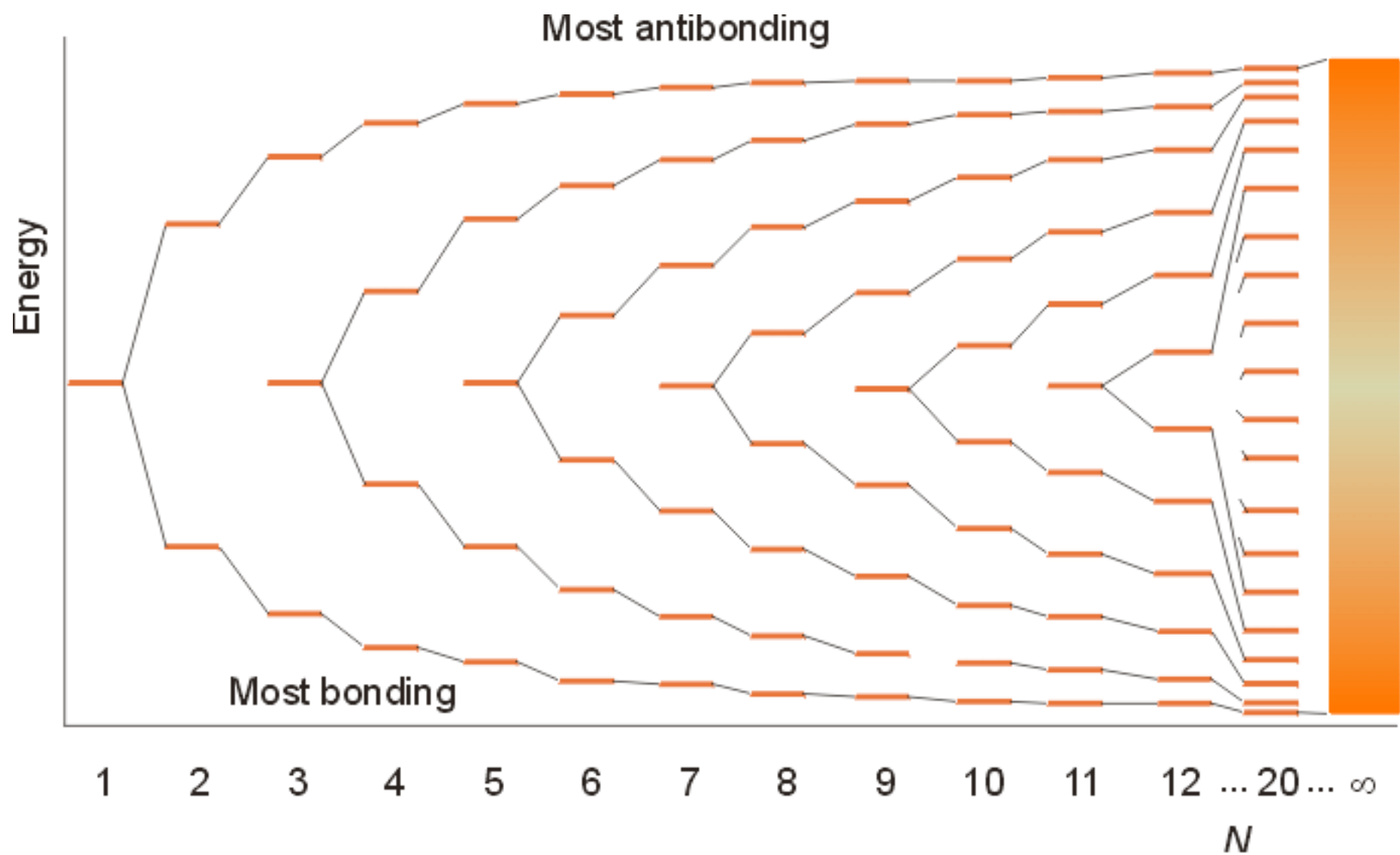
(1) H_2



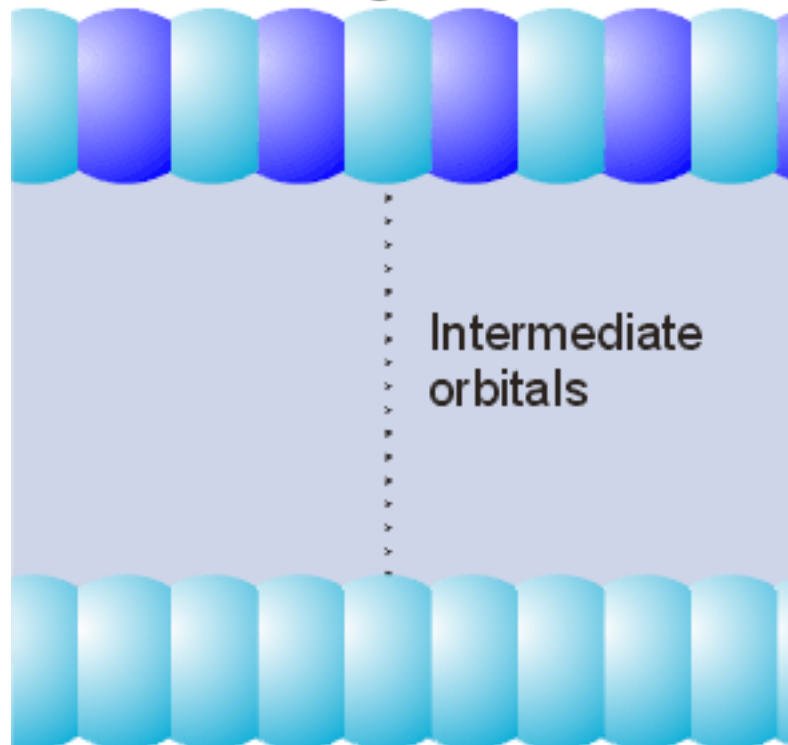
(2) H_N ($N=1 \sim \infty$)



β : 共鳴積分 (= t : 移動積分)



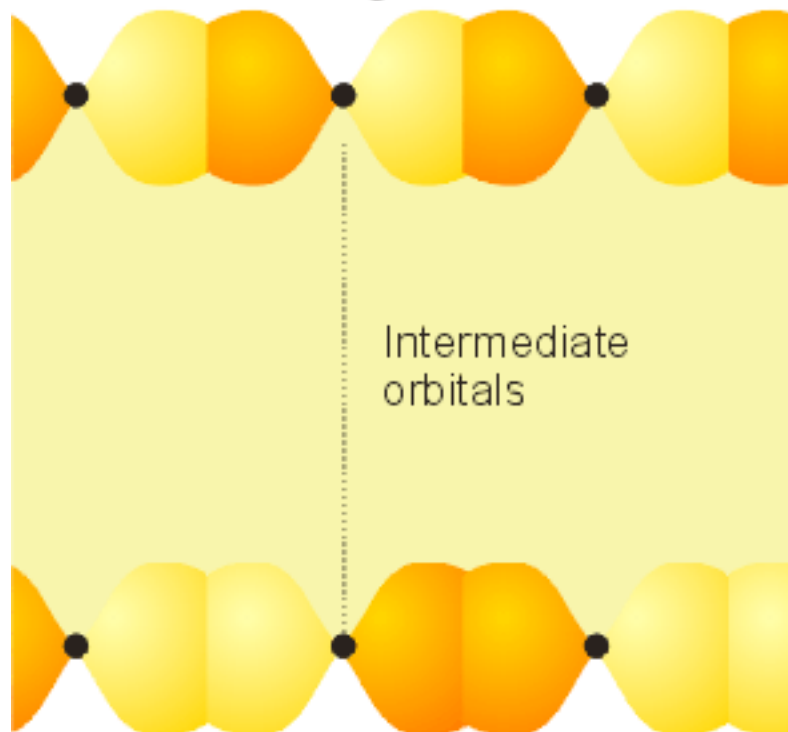
Most antibonding



Intermediate
orbitals

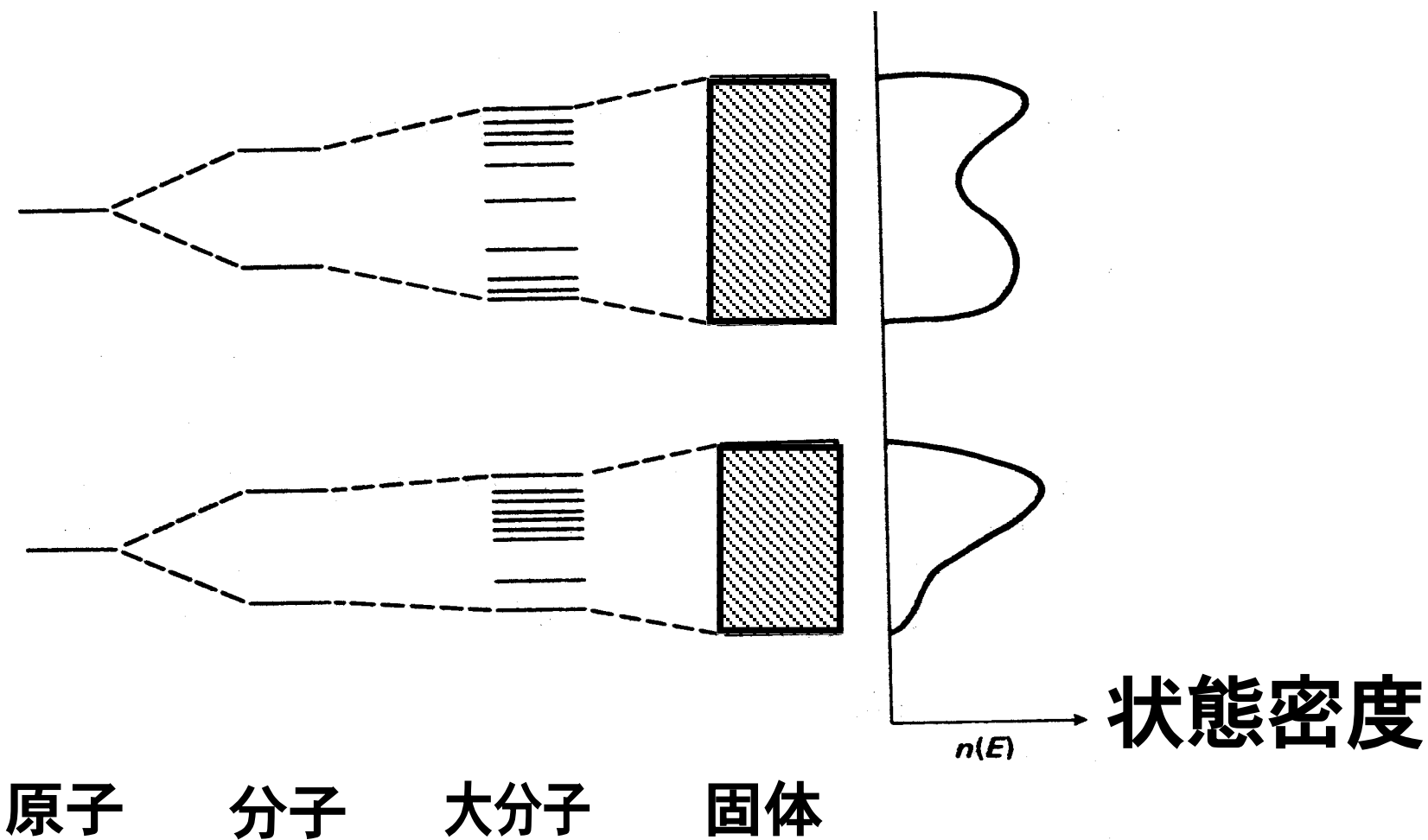
Most bonding

Most antibonding

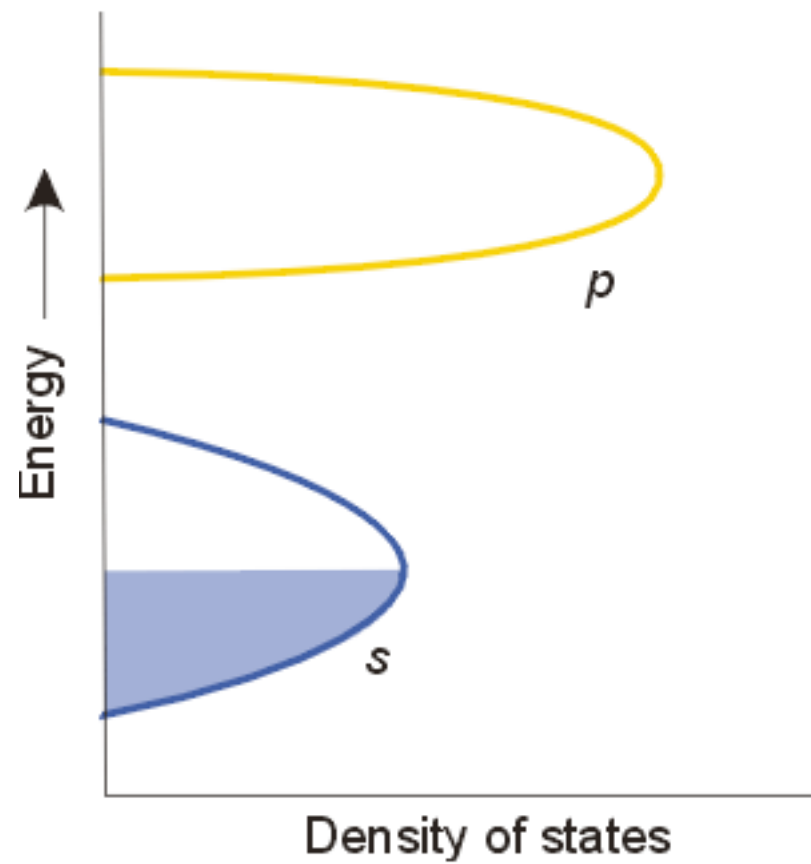


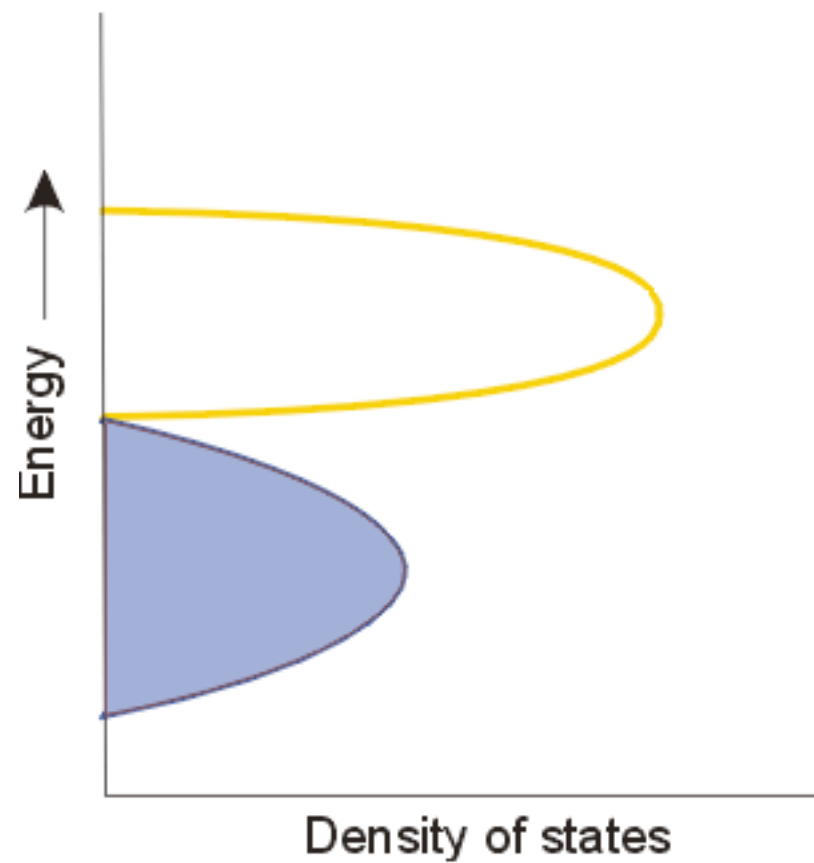
Intermediate
orbitals

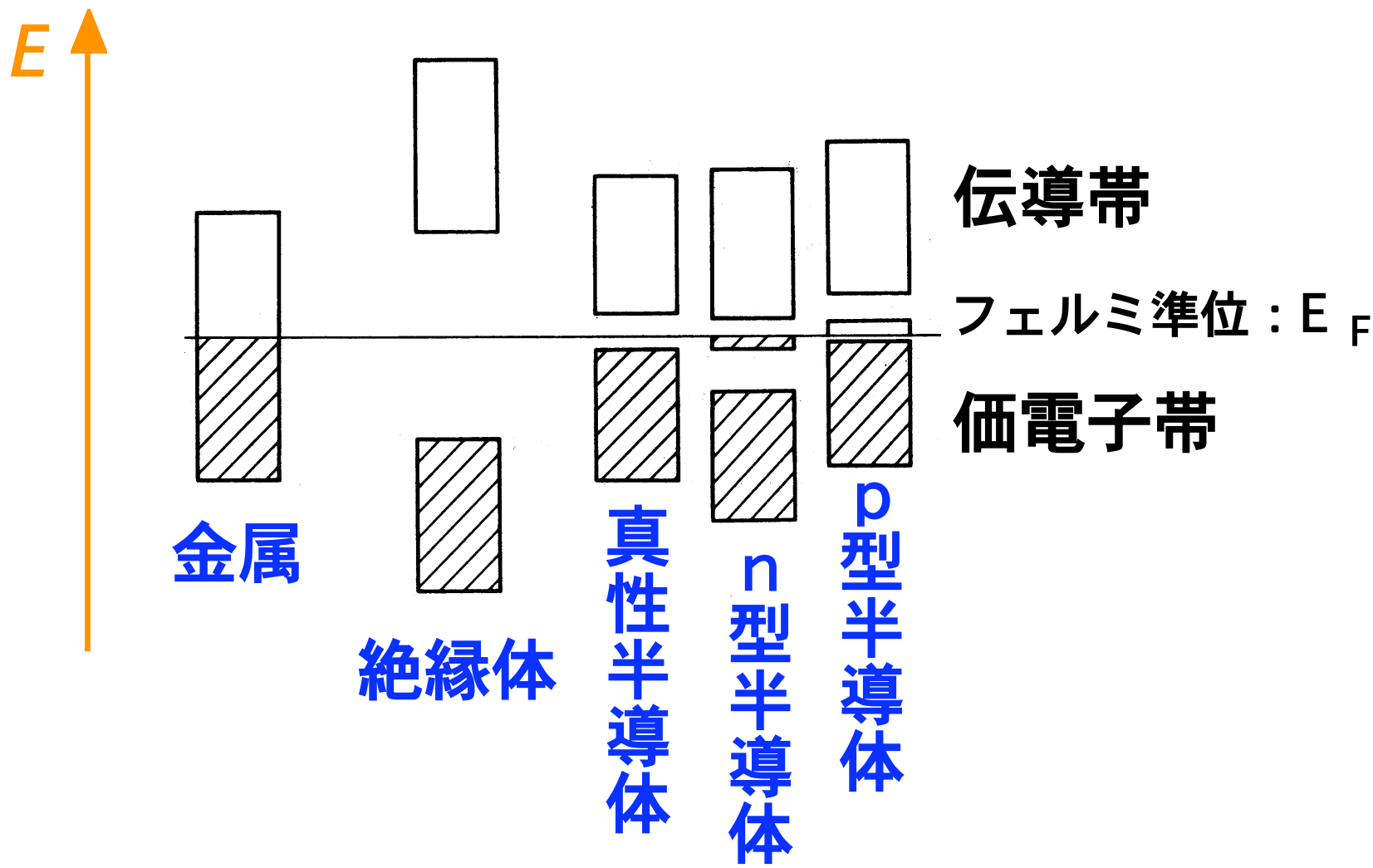
Most bonding

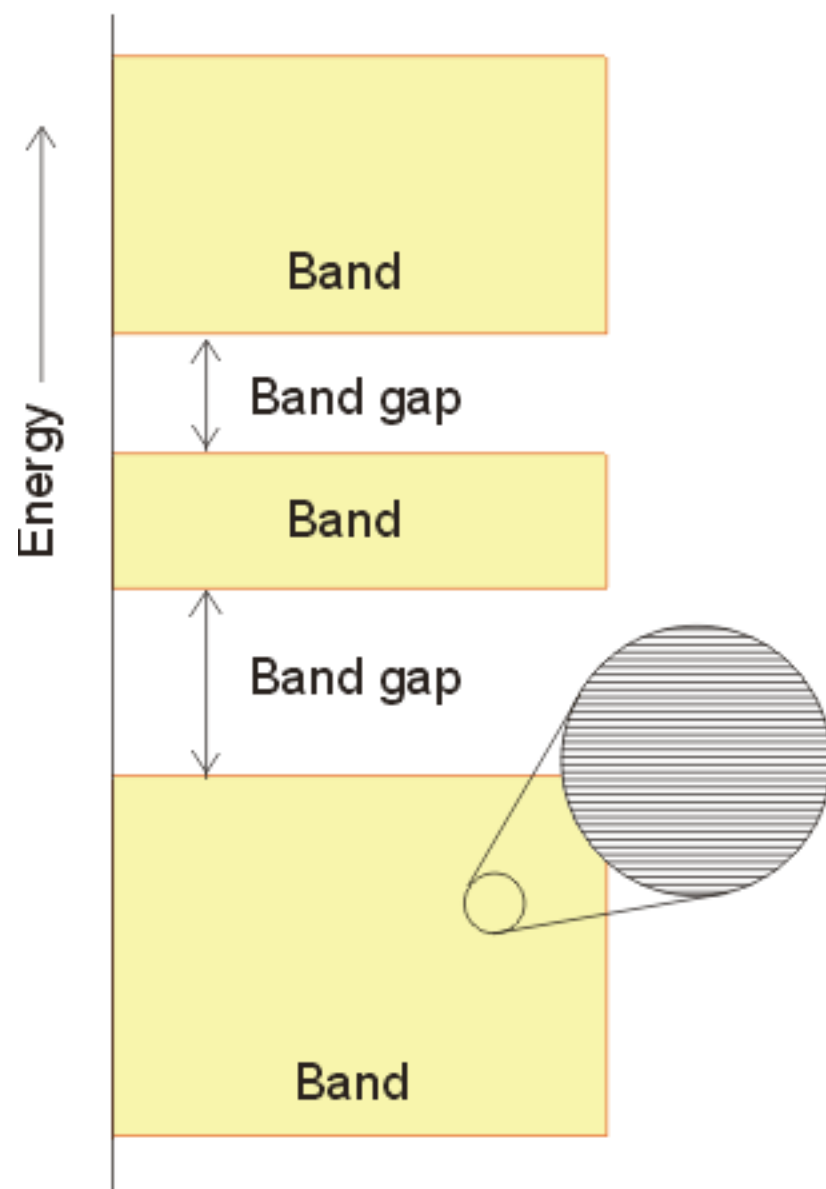




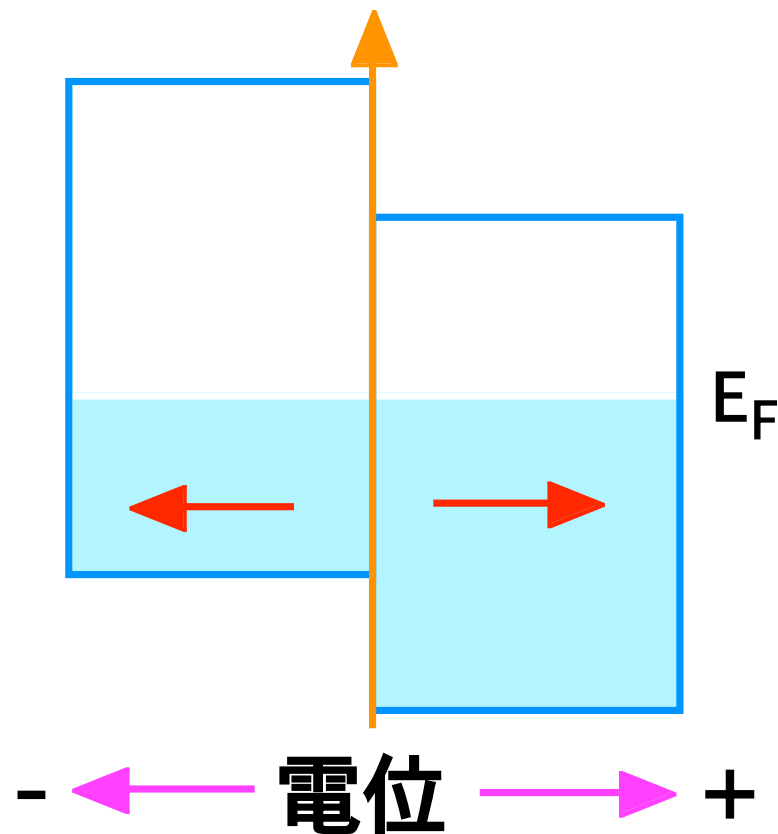
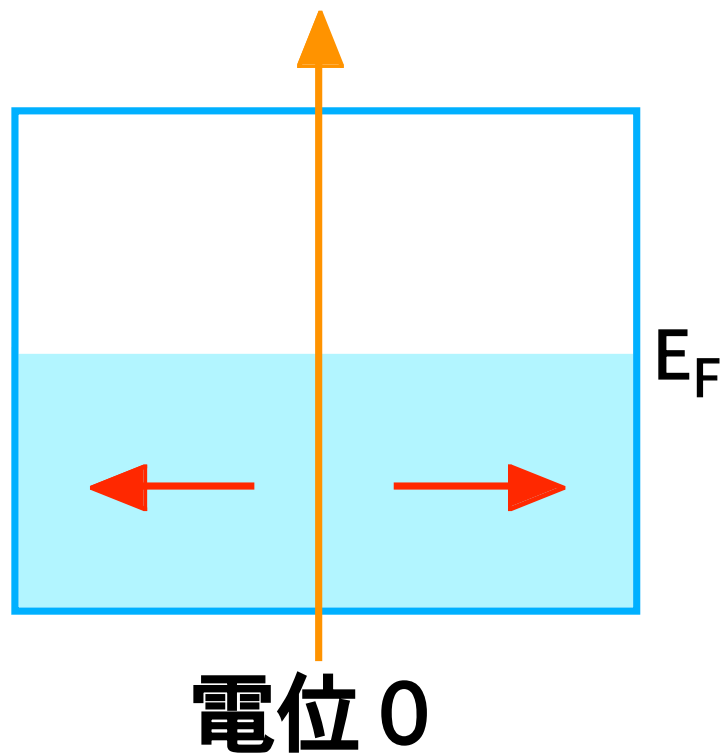


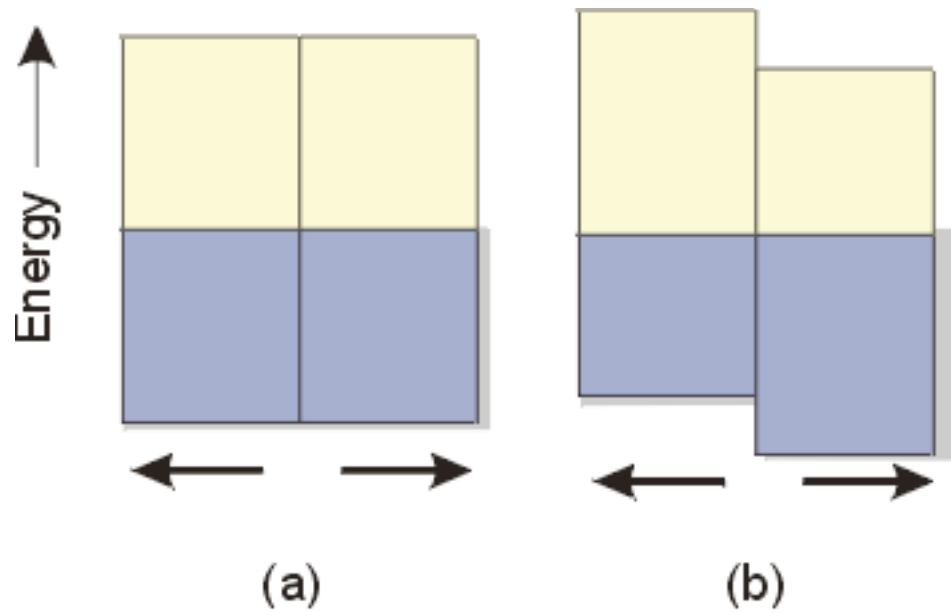




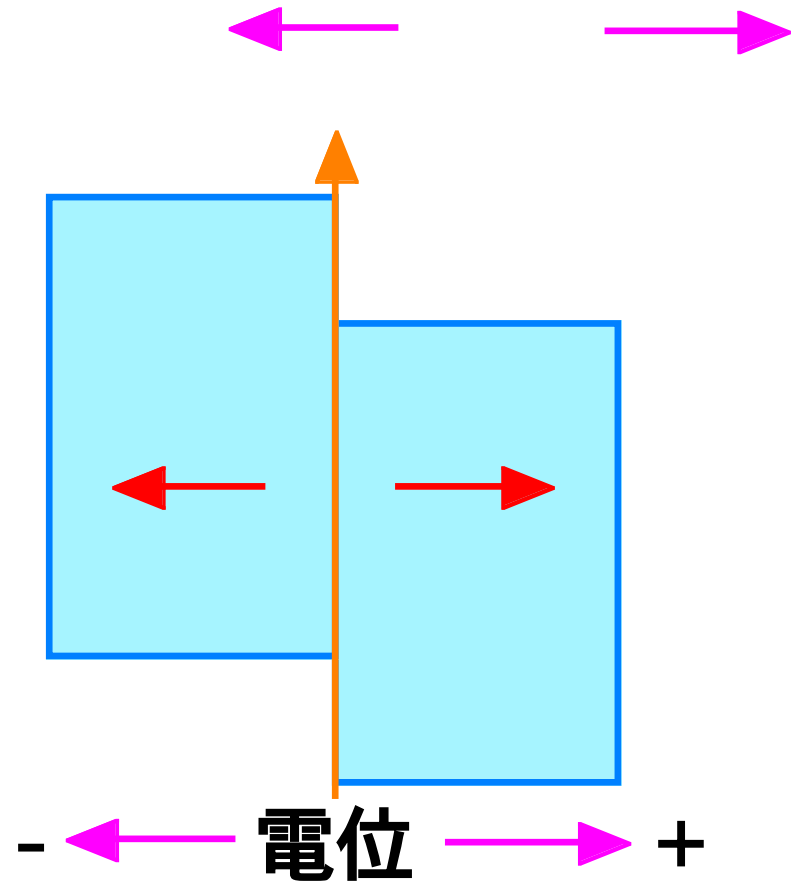


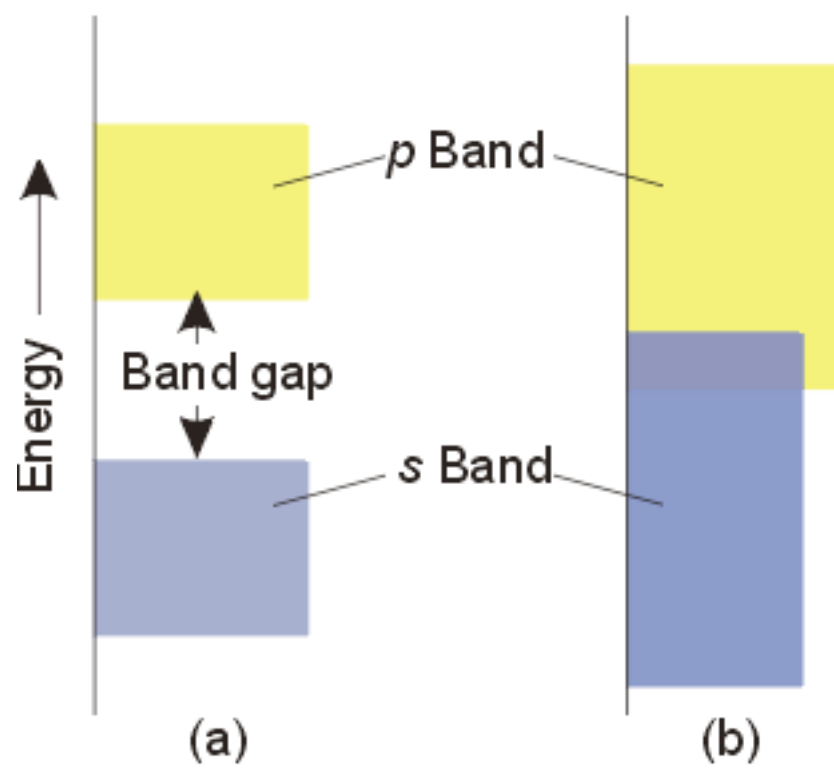
(1) 金属の場合

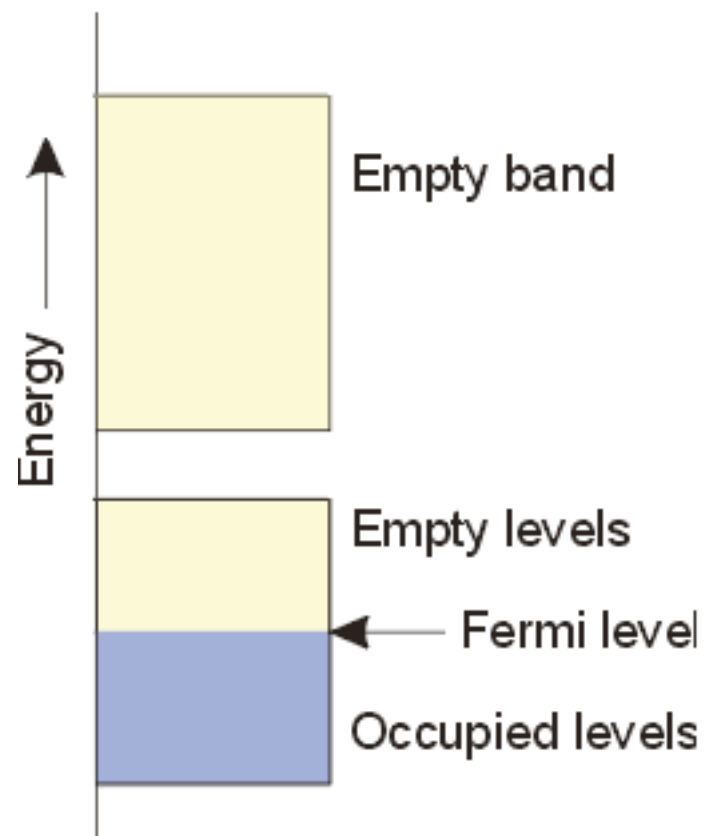


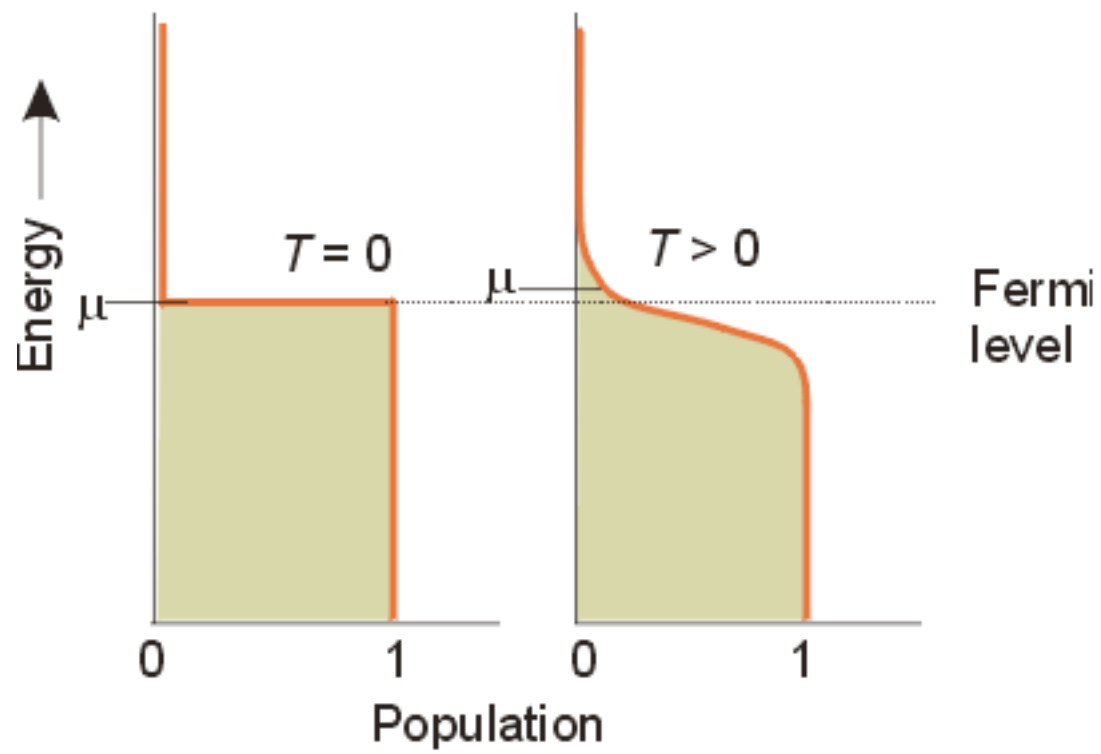


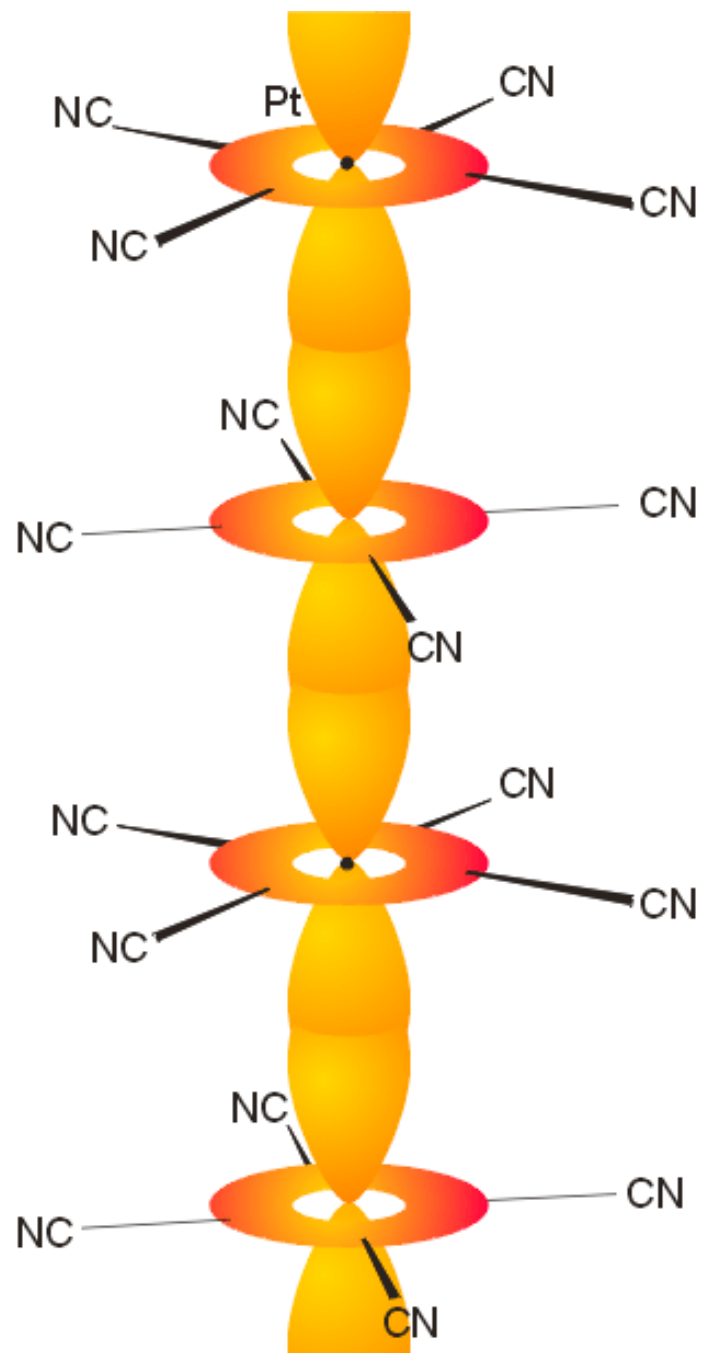
(2) 絶縁体の場合

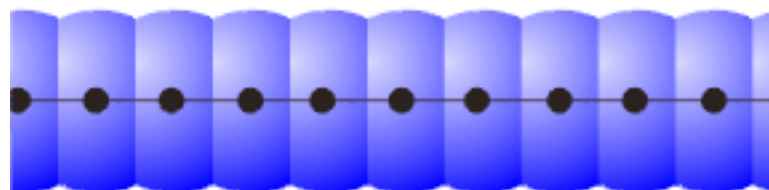




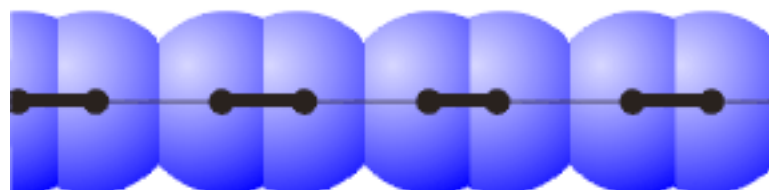




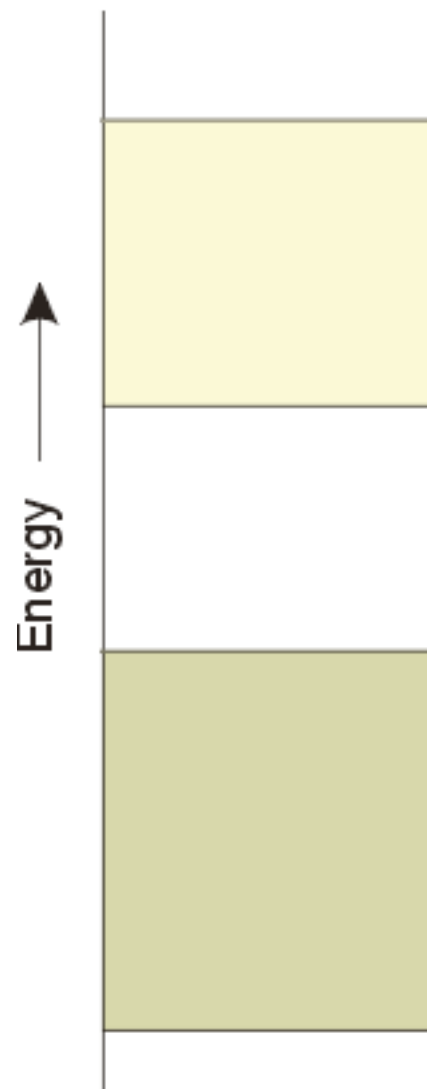


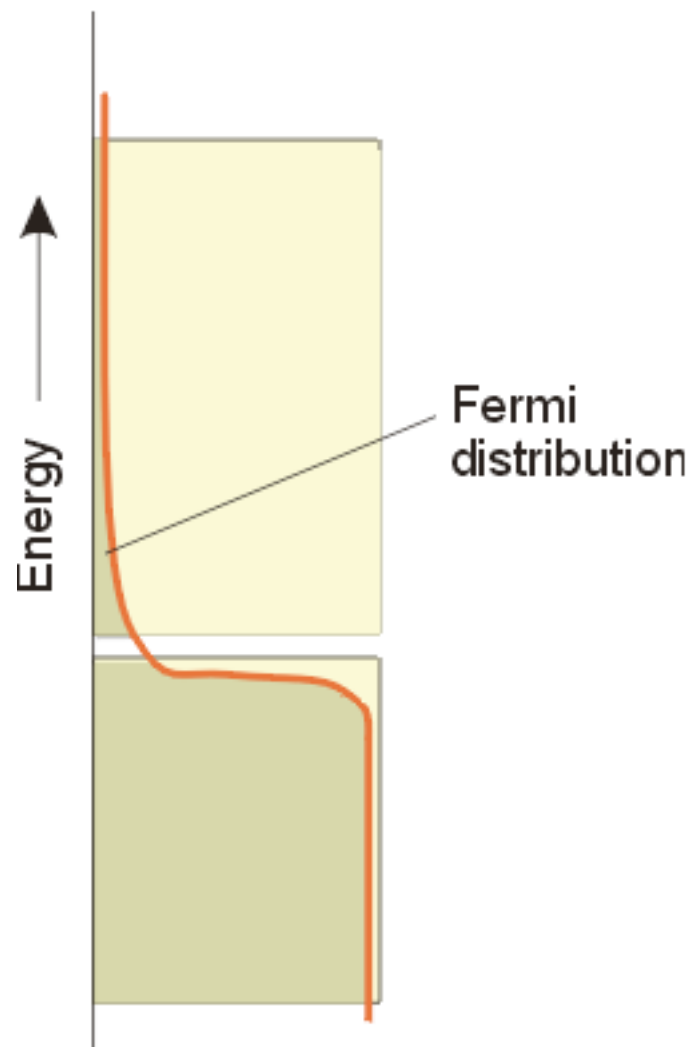


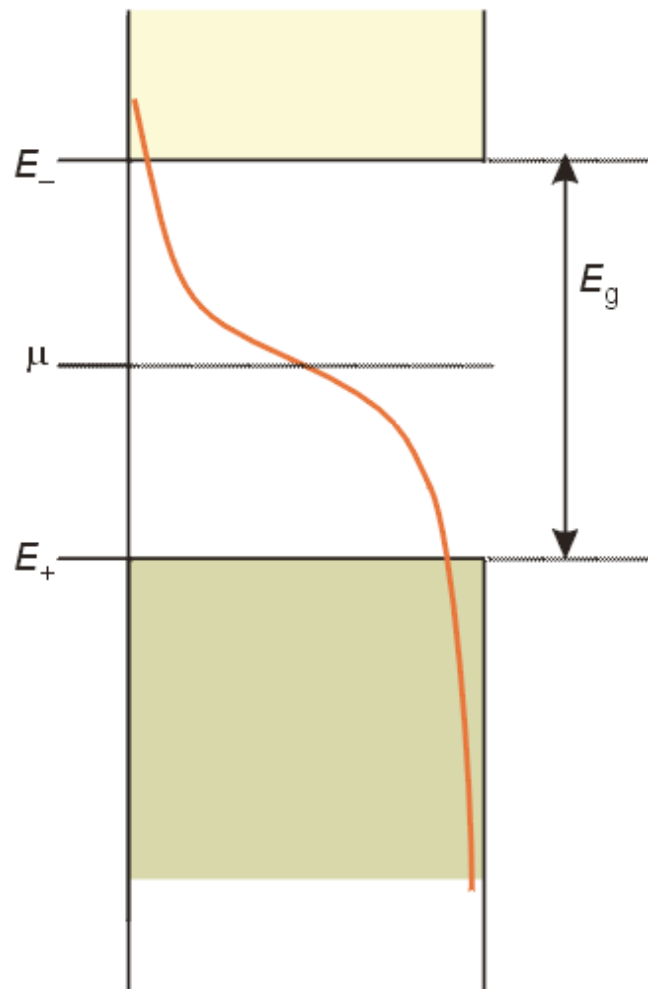
(a)

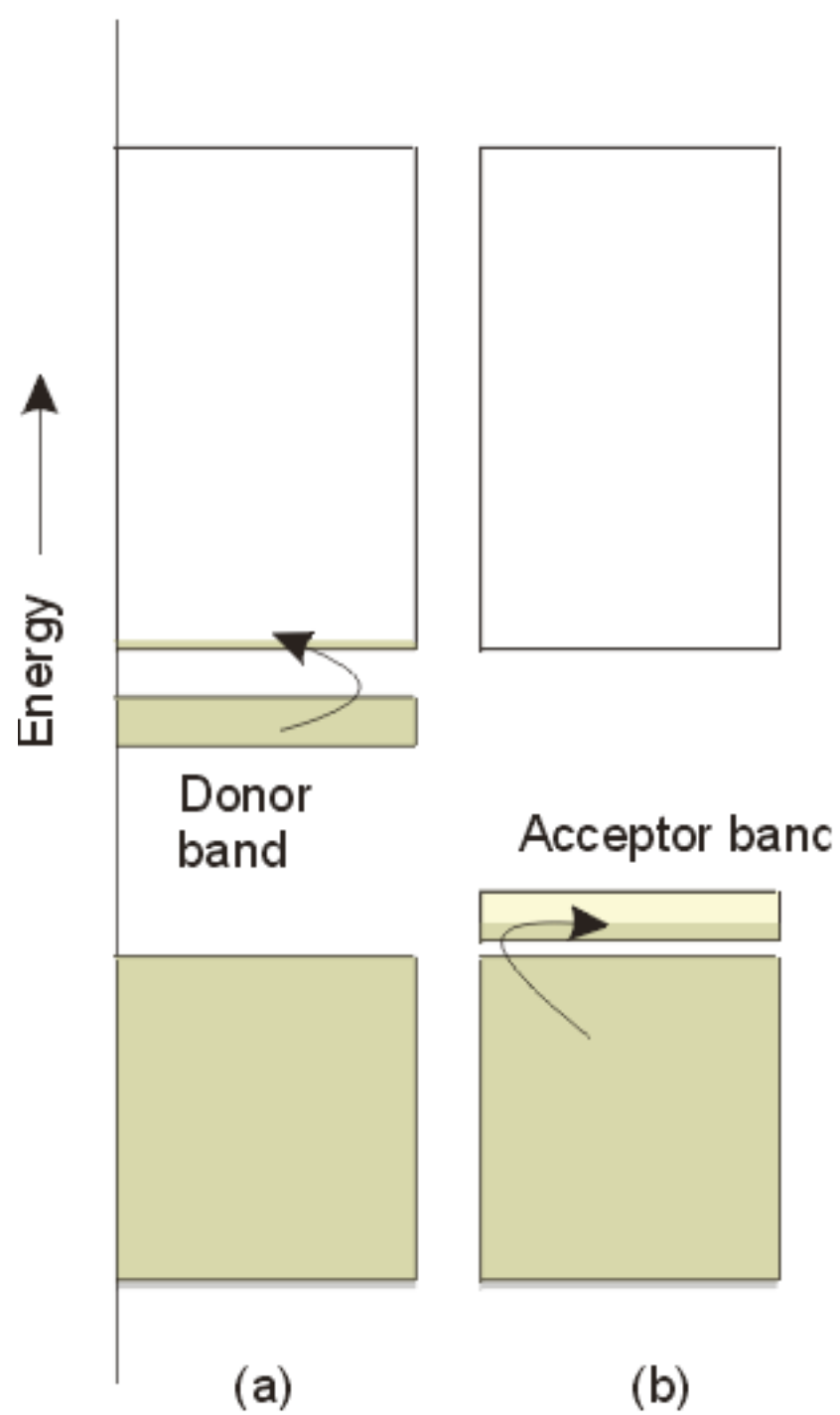


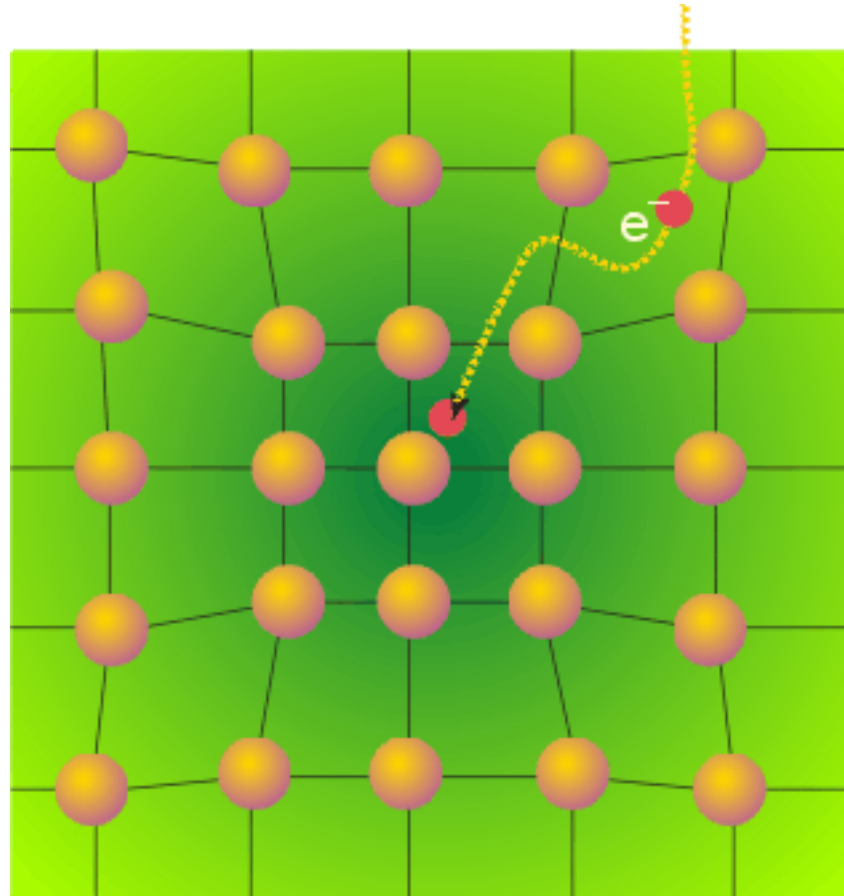
(b)



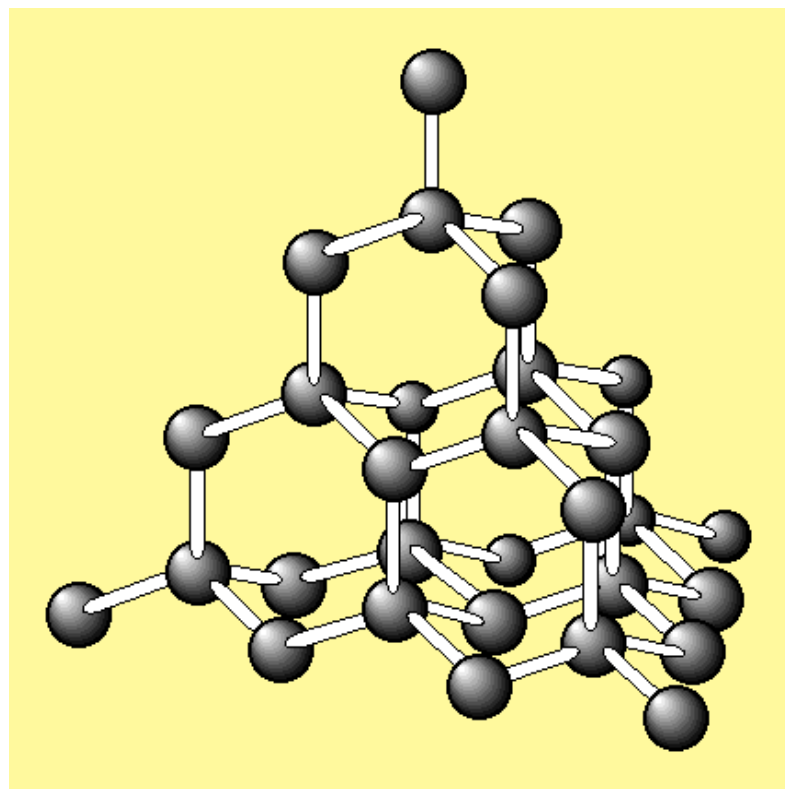




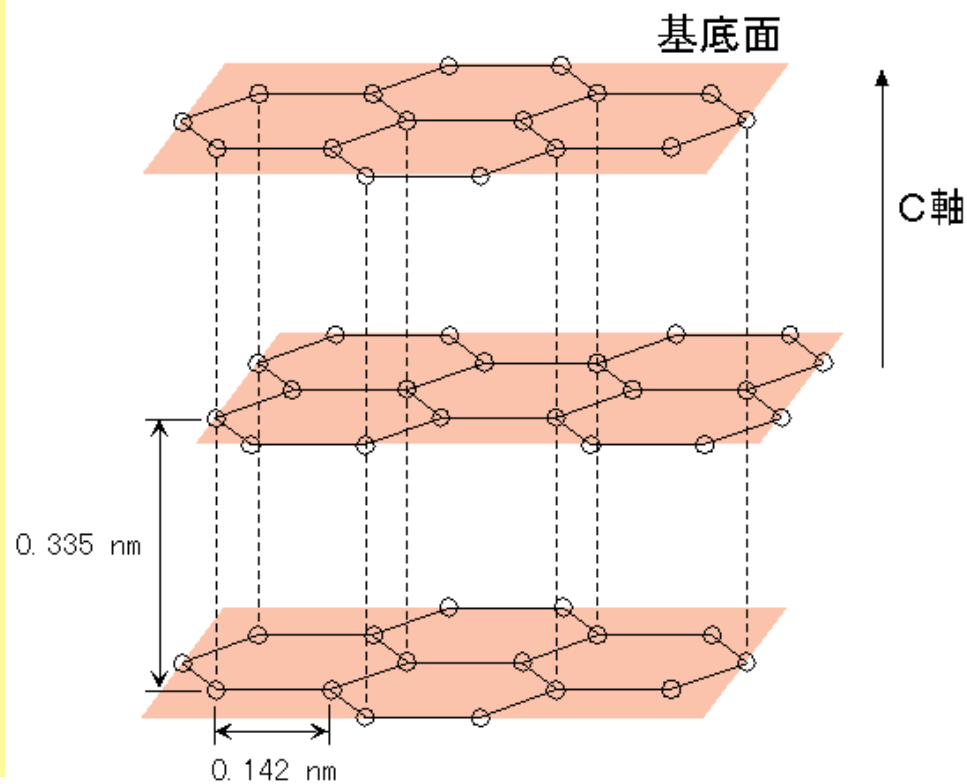




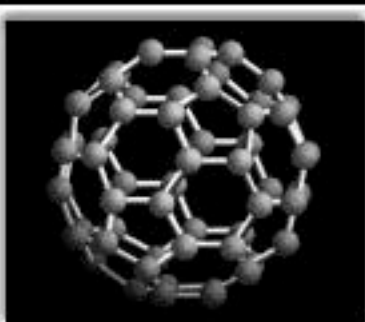
炭素



ダイヤモンド



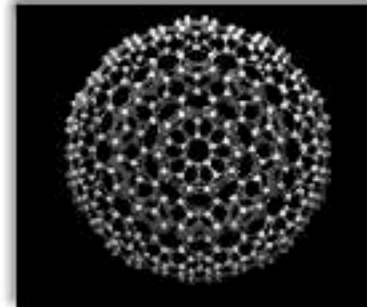
グラファイト



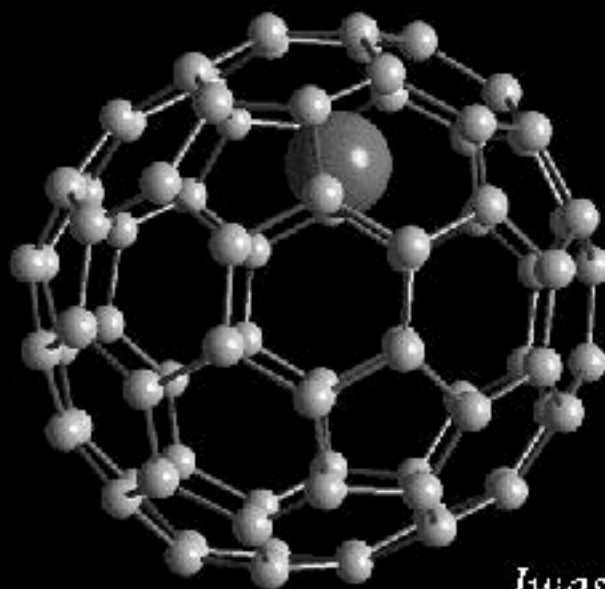
C_{60}



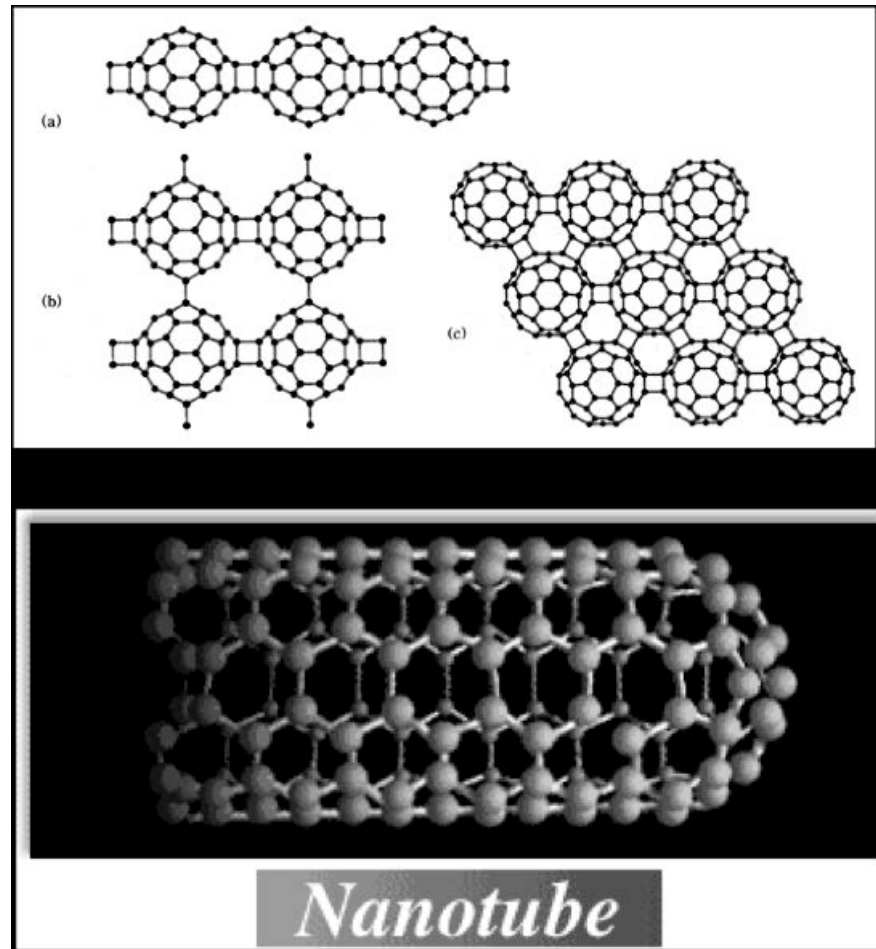
C_{70}



$C_{60}@C_{240}@C_{540}$



Iwasa Lab.



電子供与体（ドナー）と
電子受容体（アクセプター）

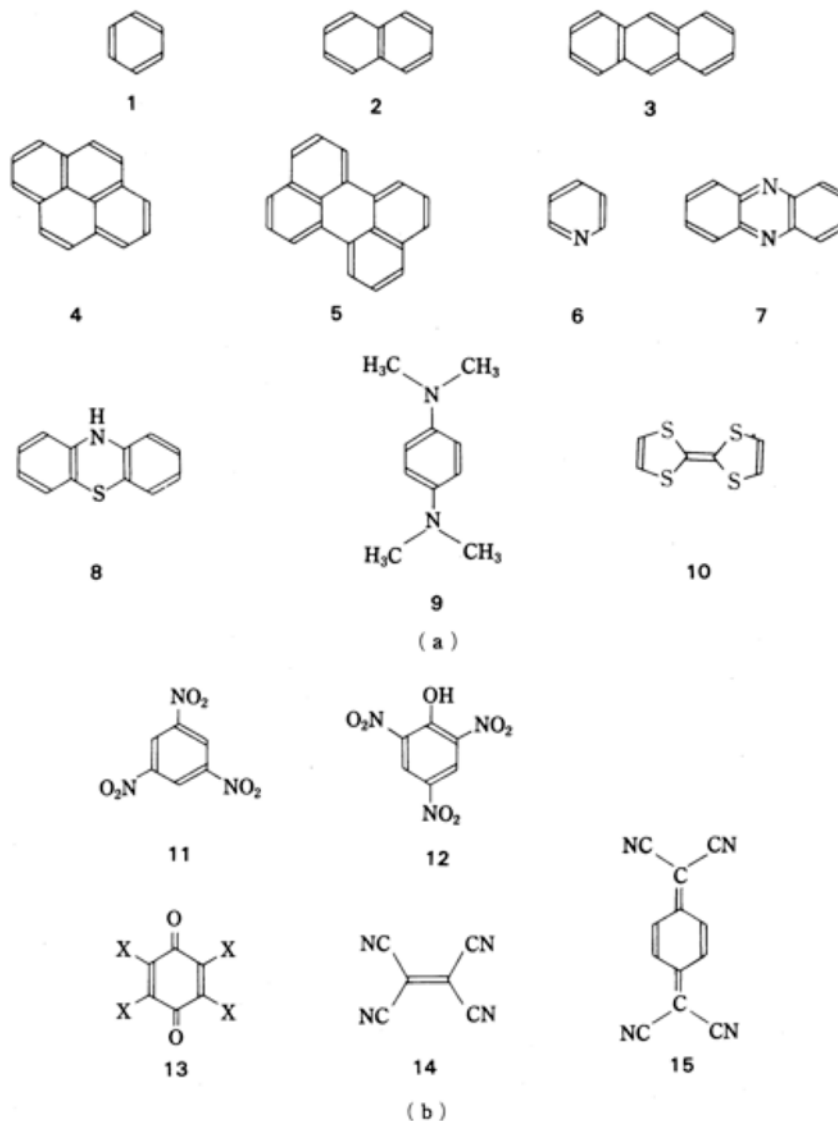


図 3.29 (a) 電子供与体（ドナー）になりやすい分子

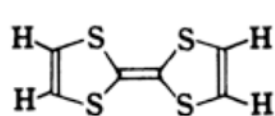
- 1 ベンゼン 2 ナフタレン 3 アントラセン 4 ビレン
5 ペリレン 6 ピリジン 7 フェナジン 8 フェノチアジン
9 *N,N,N',N'*-テトラメチル-*p*-フェニレンジアミン (TMPD)
10 テトラチアフルバレン (TTF)

(b) 電子受容体（アクセプター）になりやすい分子

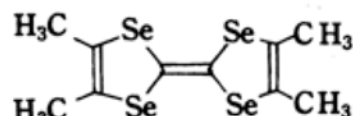
- 11 1, 3, 5-トリニトロベンゼン 12 ピクリン酸
13 $X=Cl$: クロラニルキノン, $X=F$: フルオラニルキノン
14 テトラシアノエチレン (TCNE)
15 7, 7, 8, 8-テトラシアノキノジメタン (TCNQ)

表 5.1 分子性金属, 超伝導体開発の展開

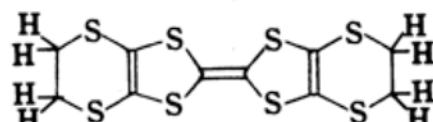
1968	$K_2Pt(CN)_4Br_{0.3} \cdot 3H_2O$ (KCP) 中心金属 (Pt) の $5d_{z^2}$ での金属-金属結合と電気伝導
1973	TTF-TCNQ 一次元金属 (カラム構造) パイエルス不安定性と電荷密度波 (CDW)
1980	$(TMTSF)_2X$ <u>有機超伝導体の出現</u> スピン密度波 (SDW)
1984	$\beta-(BEDT-TTF)_2I_3$ 低- T_c (1.5 K)
1985	$\beta-(BEDT-TTF)_2I_3$ 高- T_c (8 K)
1986	$\theta-(BEDT-TTF)_2I_3$ <u>わが国初の有機超伝導体</u> (TTF) $[Ni(dmit)_2]_2$ 初めての遷移金属錯体分子を含む超伝導体
1987	$(Me_4N)[Ni(dmit)_2]_2$ π アクセプター分子のみが伝導に関与する超伝導体 $\kappa-(BEDT-TTF)_2I_3$ 層状超伝導体 κ 型分子配列 (DMET) $_2X$ 非対称的ドナーをもつ一連の超伝導体 (R_1, R_2 -DCNQI) $_2Cu$ 配位構造をもつ分子性伝導体
1988	$\kappa-(BEDT-TTF)_2Cu(NCS)_2$ <u>T_c が 10K を越える</u> $\alpha, \alpha'-TTF[Pd(dmit)_2]_2$ $Pd[dmit]_2$ 超伝導体
1990	$\kappa-(BEDT-TTF)_2Cu[N(CN)_2]X$, ($X=Br, Cl$) T_c が 13K に上昇



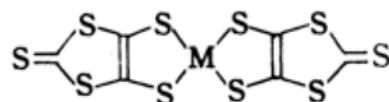
TTF



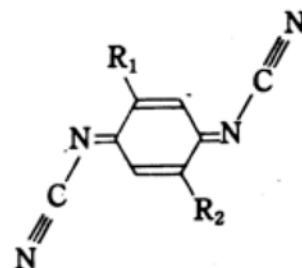
TMTSF



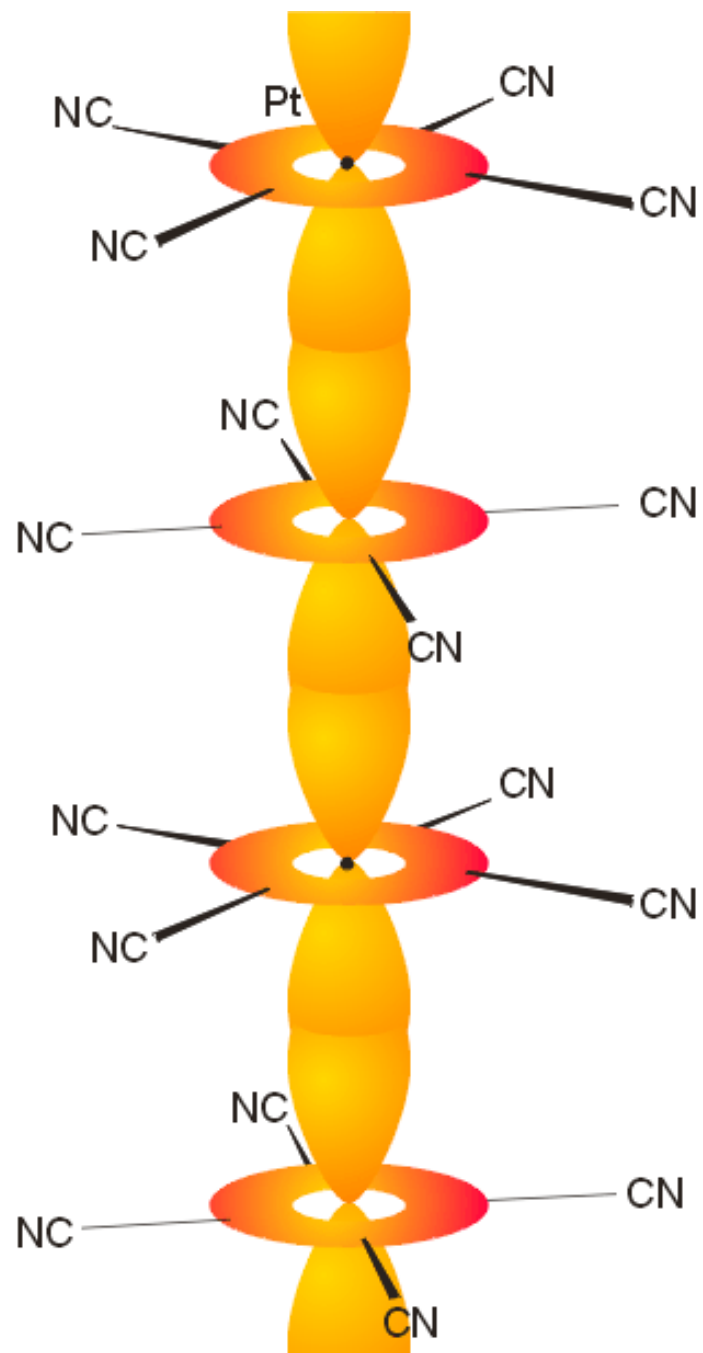
BEDT-TTF, ET とも略称される。



$M(dmit)_2$



R_1R_2 -DCNQI



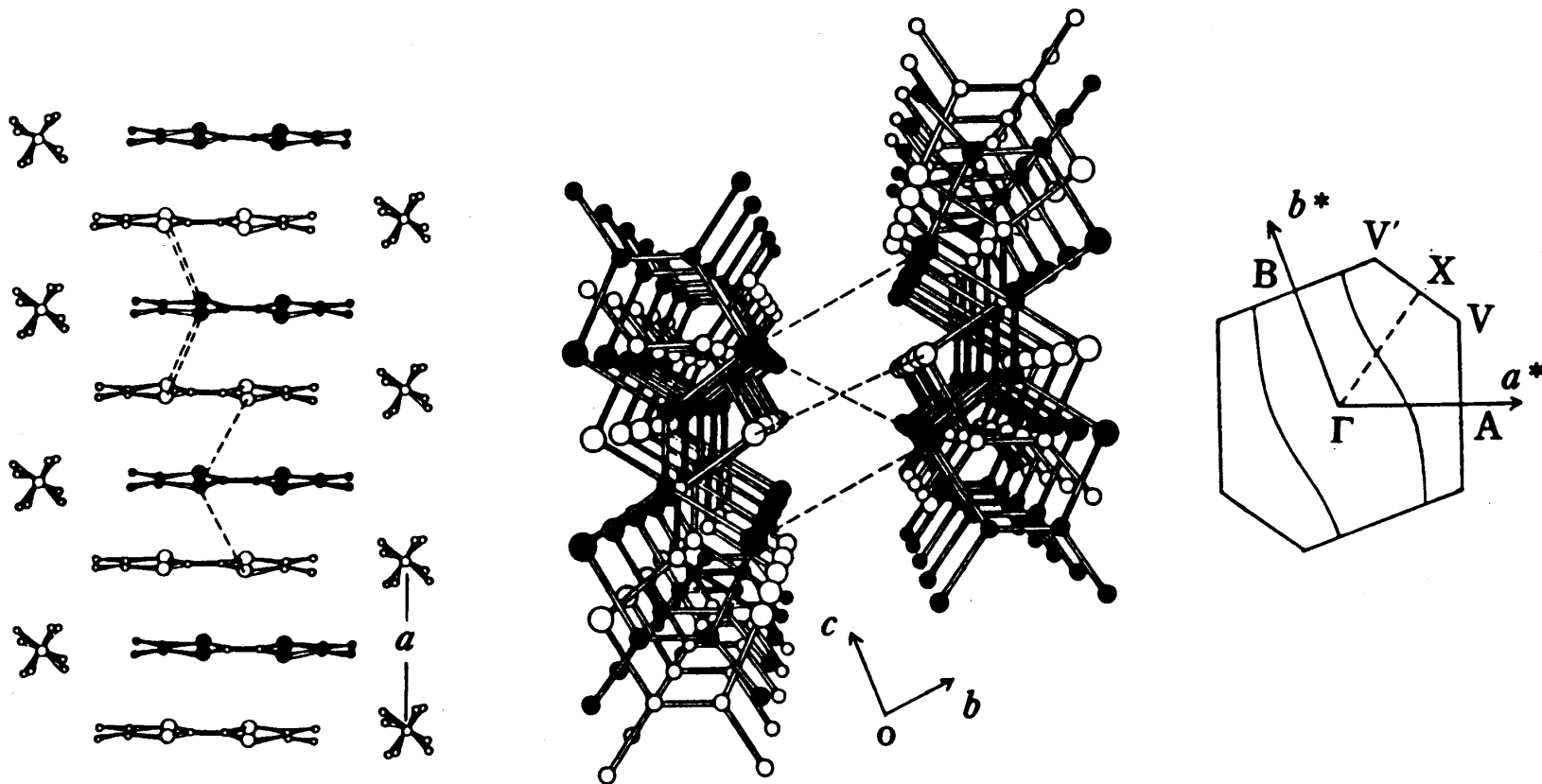


図 5.4 $(\text{TMTSF})_2\text{X}$ ($=\text{PF}_6, \text{ClO}_4\cdots$) 塩の構造とフェルミ面. 破線はファンデルワールス距離以下の $\text{Se}\cdots\text{Se}$ 距離.

最初の有機超伝導体

国産初の有機超伝導体

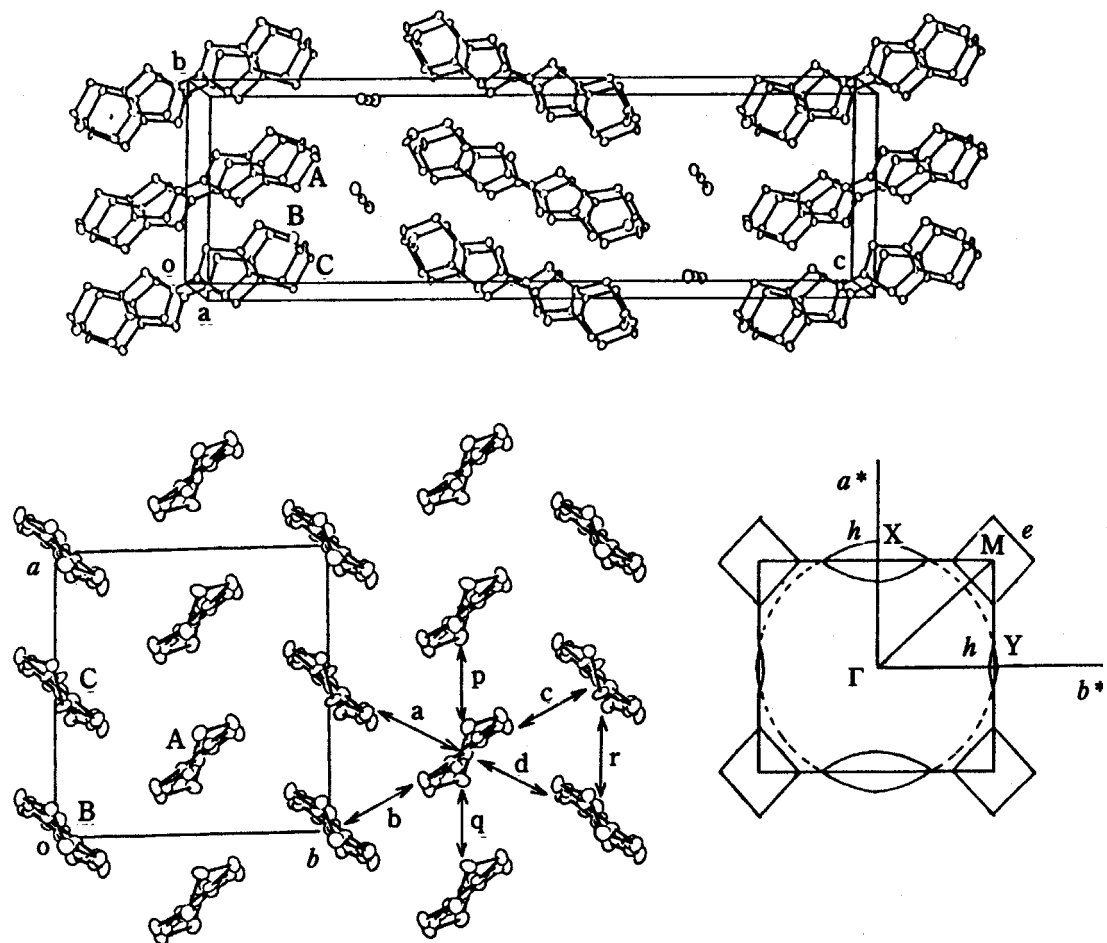


図 5.6 θ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の結晶構造。金属層内分子配列および平均構造とヒュッケル法にもとづくフェルミ面。A, B, C は独立な分子, a, b など独立な分子間相互作用をあらわす。破線は平均化された相互作用についての近似的な円筒フェルミ面の断面(図 5.3 参照)。Y 近傍に小さなホール(h)領域が存在すること以外は実験結果とよくあっている。

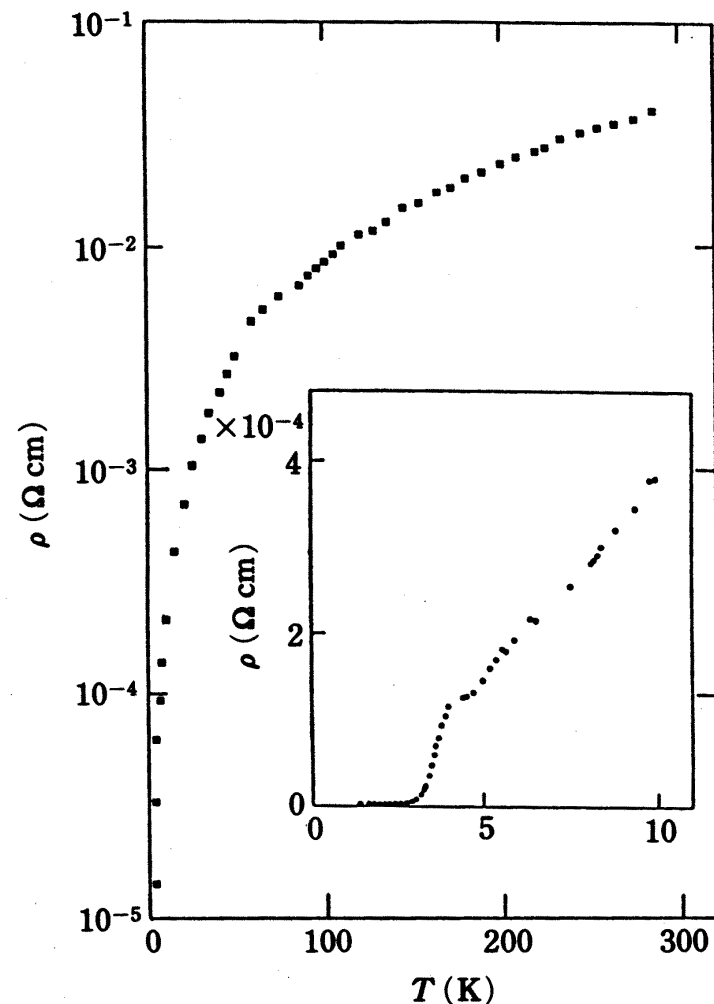
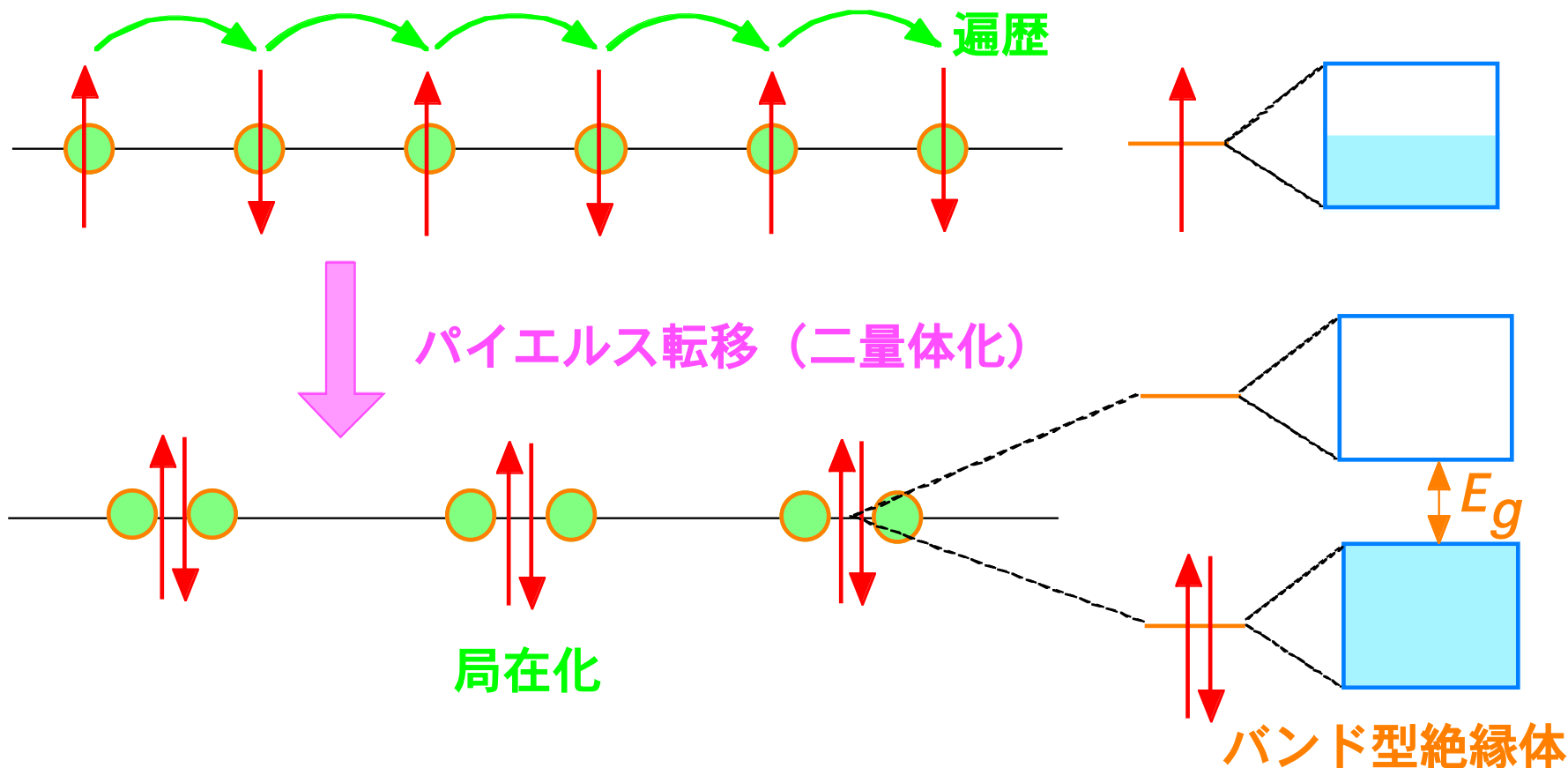


図 5.5 θ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の超伝導転移。
[Chem. Lett., 1986, 791.]

金属-絶縁体転移：M-I 転移

(1) パイエルス転移

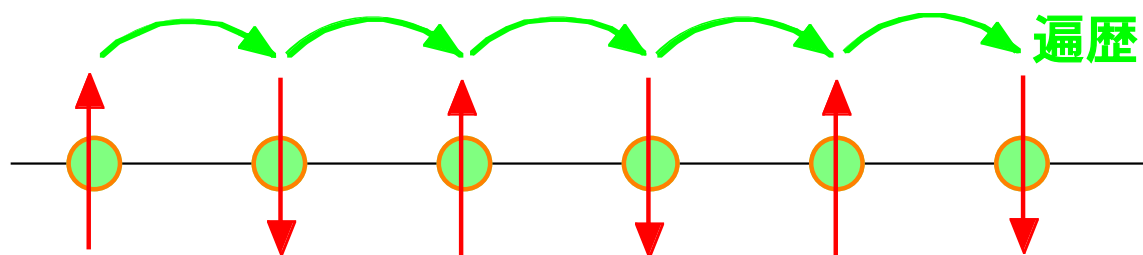
格子歪みに因る（電子-格子相互作用）



金属-絶縁体転移：M-I 転移

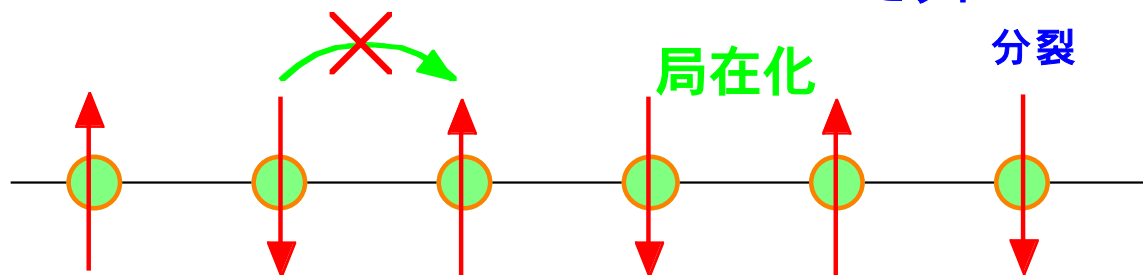
(2) モット転移

電子間反発 U に因る (電子間相互作用)

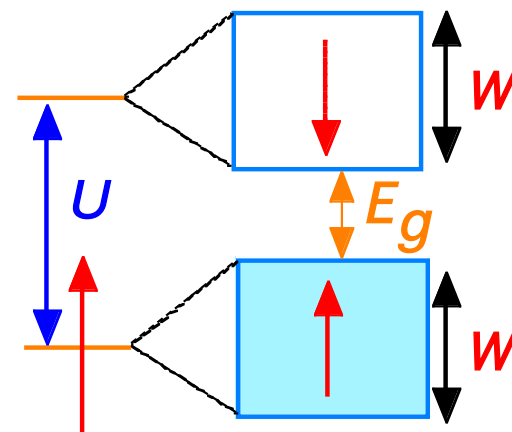
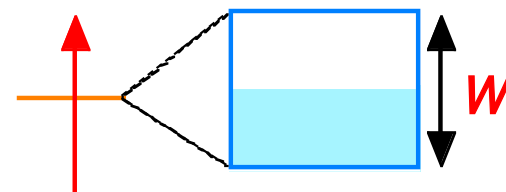


$$U > W$$

モット転移 (格子歪無)



モット・ハバード
分裂



モット型絶縁体

Mott-Hubbard type insulator

ハバードモデル

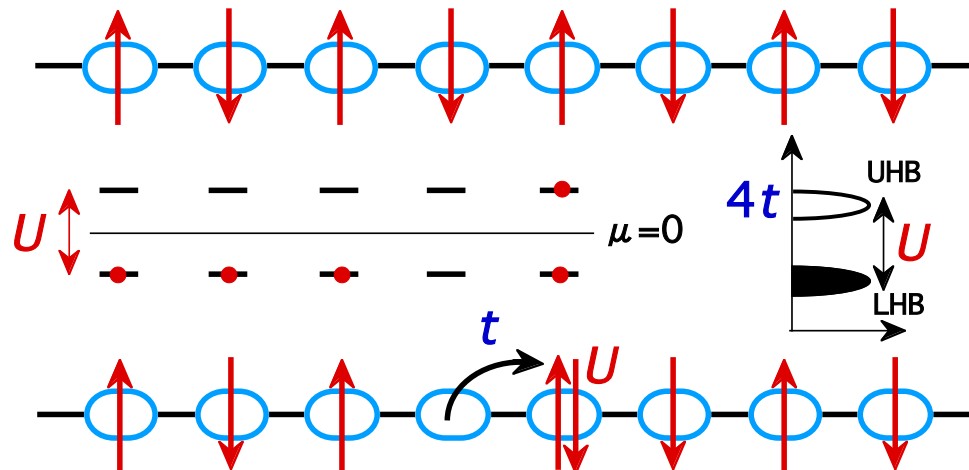
$$H = \sum_{i \neq j} t_{ij} c_{js} c_{is} + U \sum_i n_{i\uparrow} n_{i\downarrow}$$

移動積分
(波動性)

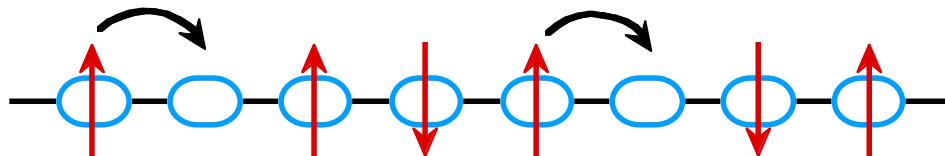
クーロン反発
(粒子性)

$N_e/N=1$ の場合(半充填)

○ 2人掛けの椅子



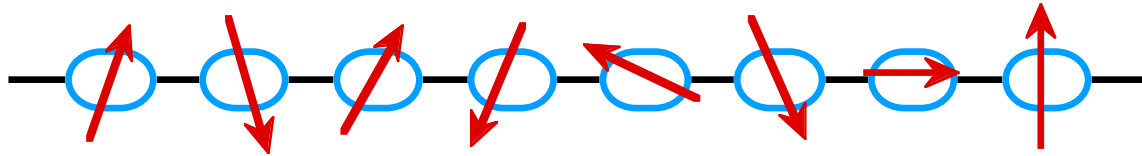
$N_e/N \neq 1$ の場合



$N_e/N=1$ の場合(半充填)

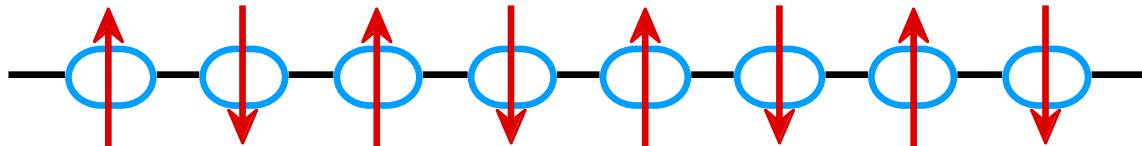
(1) $U > W (\sim 4t)$: モット絶縁体

Magnetic disorder

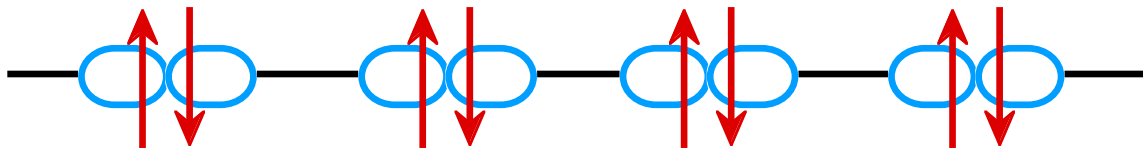


基底状態

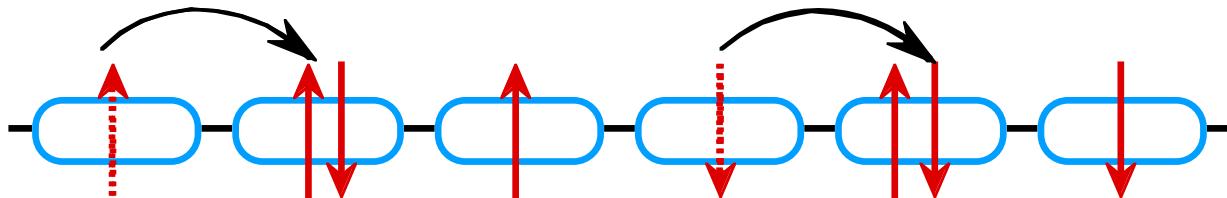
(a) SDW (鎖間相互作用大)



(b) Spin Peierls (鎖間相互作用小)

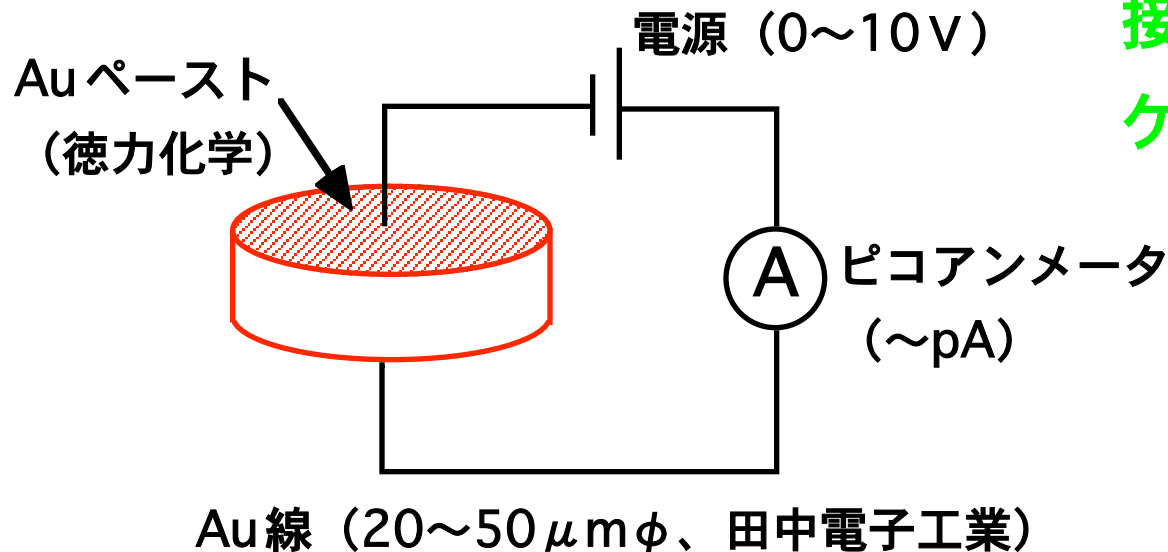


(2) $U < W (\sim 4t)$: 金属



測定方法

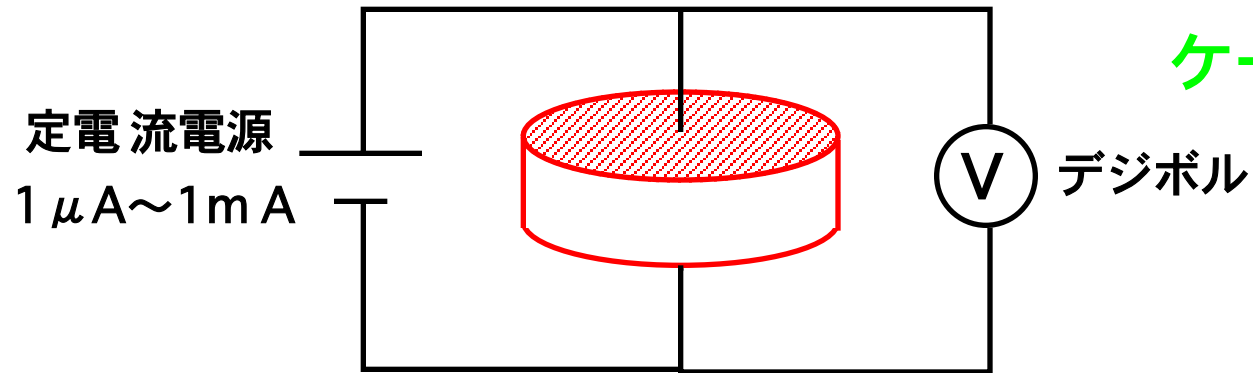
- ・ 二端子法（高抵抗の場合、 $\rho > 10^{-8} \Omega \text{cm}$ ）



接触抵抗：有

ケーブル抵抗：有

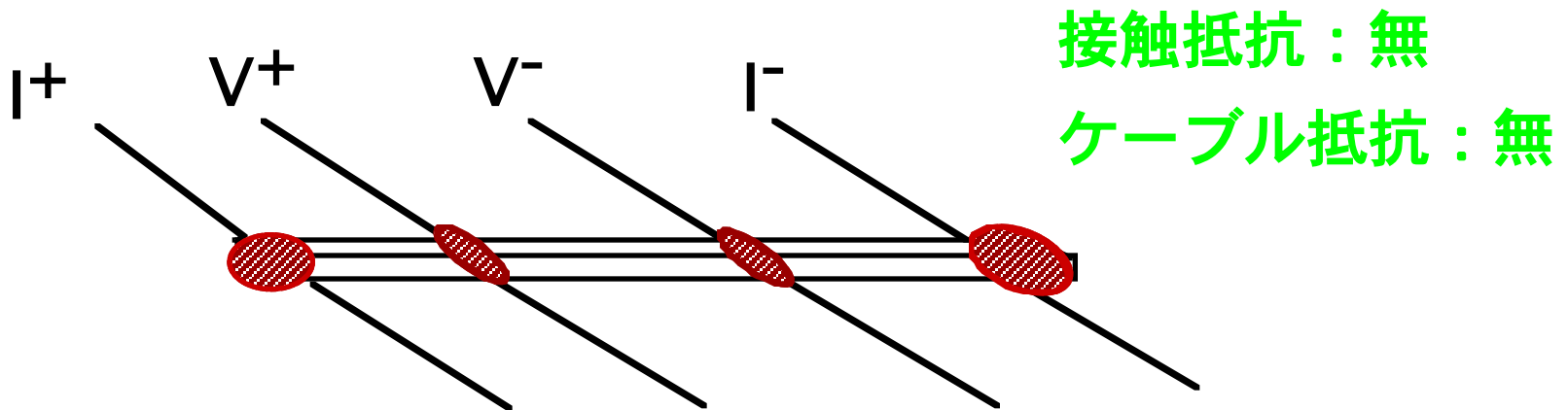
- ・ 擬似四端子法（粉末試料、 $\rho > 10^{-3} \Omega \text{cm}$ ）



接触抵抗：有

ケーブル抵抗：無

- ・ 四端子法（単結晶試料、 $\rho < 10^{-3} \Omega \text{cm}$ ）



金属伝導性錯体を創るには

1. 集積系であること

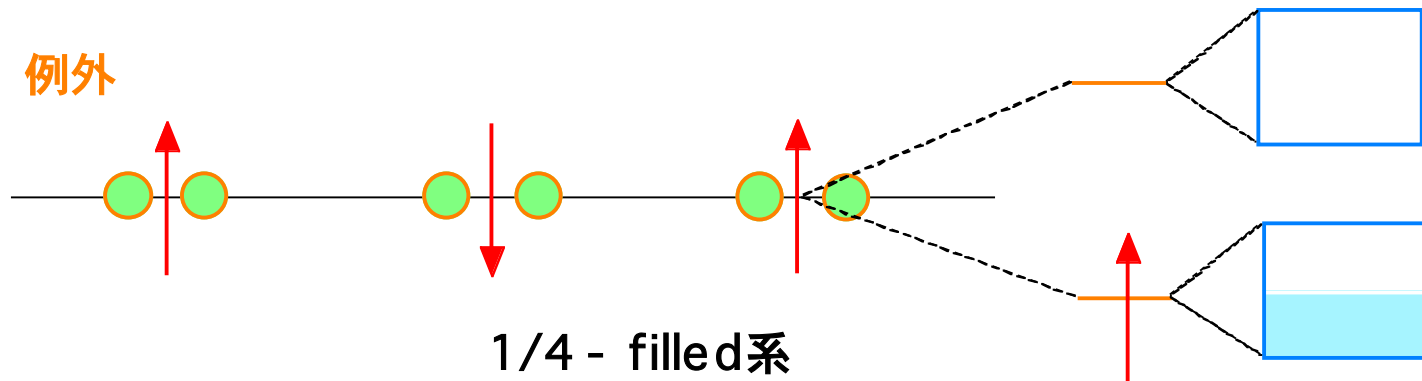
- ・ ディスクリート系では無理
- ・ 架橋配位子を用いる（共有結合ネットワーク）
 - 架橋イオン（ハロゲンイオン、酸素イオン、 π 共役系）
- ・ 短い分子間距離（ファンデルワールスネットワーク）
 - M-M距離 $< 3.0 \text{ \AA}$ 、 π - π 距離 $< 3.4 \text{ \AA}$

2. 不対電子（ラジカル）を有する

- ・ 閉殻構造でない、部分酸化状態、混合原子価状態

3. ユニフォームな構造を有する

- ・ 超周期がない、二量体化していない、構造歪みがない。



金属伝導性錯体を創るには

4. 次元性をあげる

- ・ パイエルス転移を抑制する

5. オンサイトクーロン反発 U を減少させる

- ・ 電子雲拡大、大きい π 共役系、金属間結合

6. フロンティア軌道工学

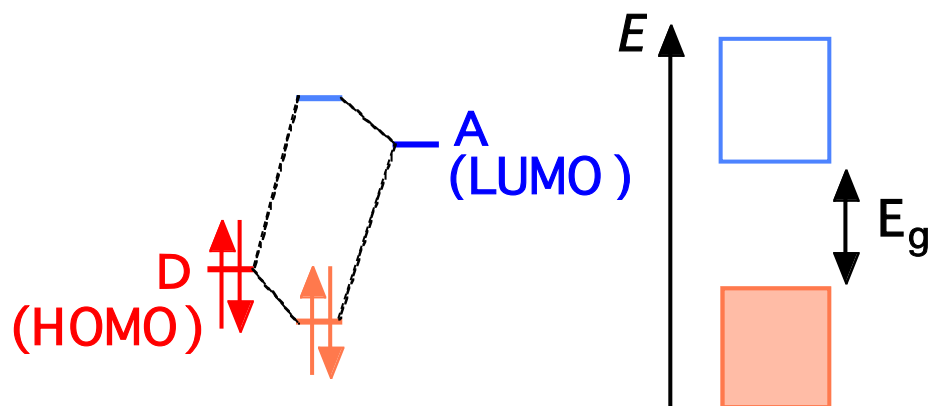
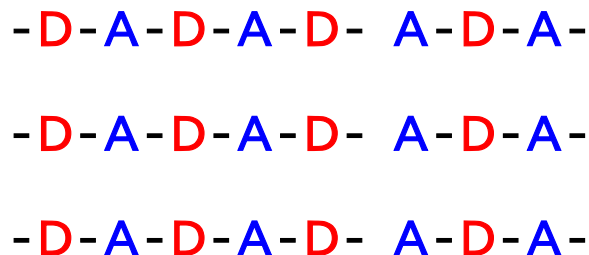
- ・ 結晶工学では駄目、軌道の対称性、直交性の考慮
- ・ 電荷移動型軌道工学（セルフ・ドーピング）
- ・ 架橋型軌道工学（ σ 型架橋、 π 型架橋）
- ・ ダイレクト型軌道工学（外部ドーピング）

7. 努力（物質観）と運（動物的臭覚）

電荷移動 型軌道工学 (セルフ・ドーピング)

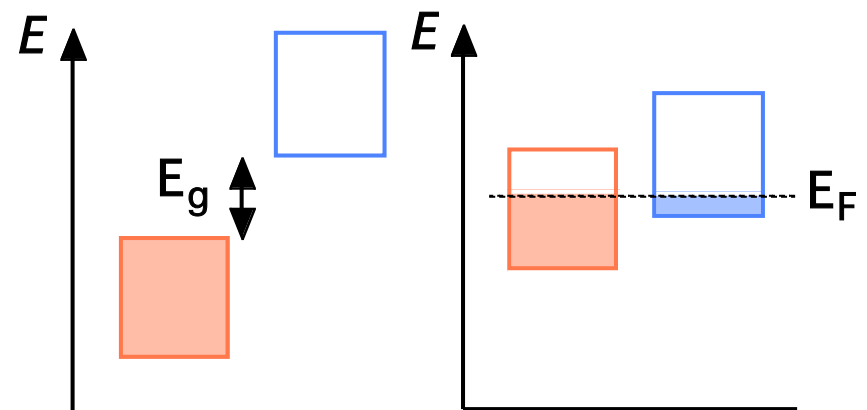
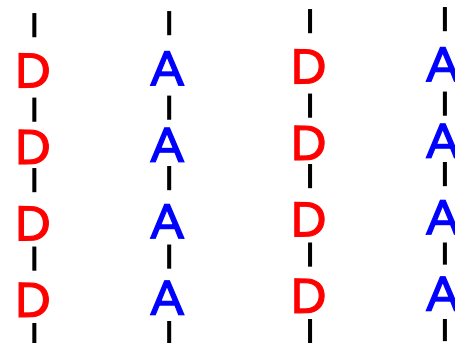
D : ドナー、A : アクセプター

(1) 交互積層型



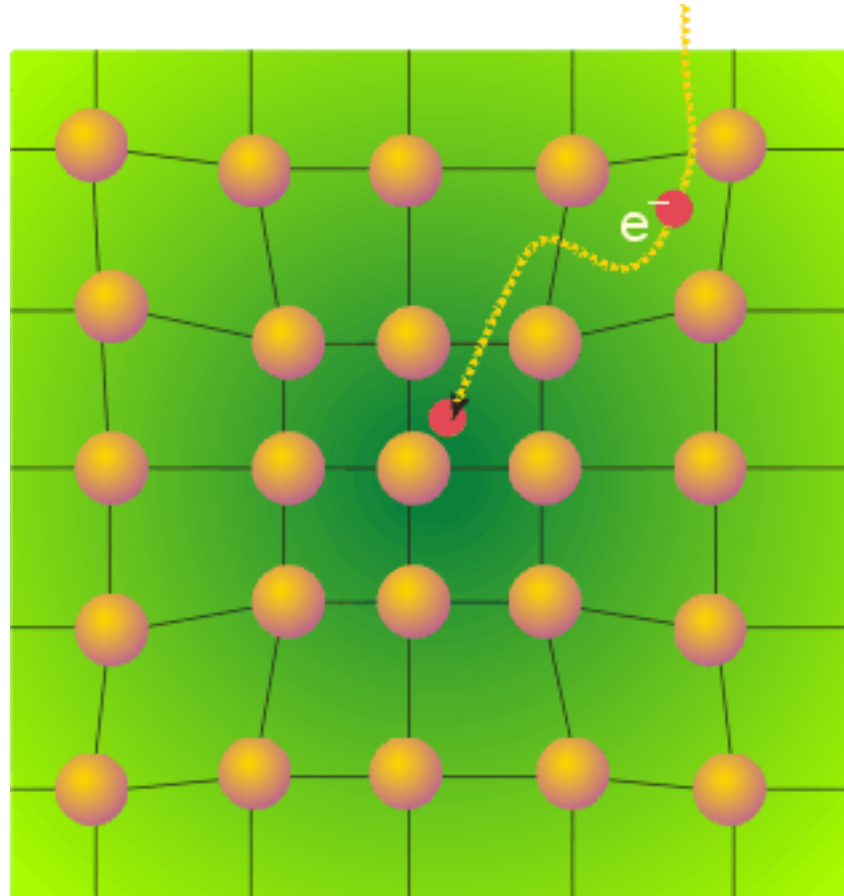
但し、強制ドーピングで金属化

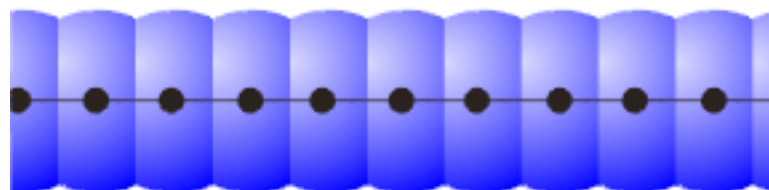
(2) 分離積層型 (セルフドーピング)



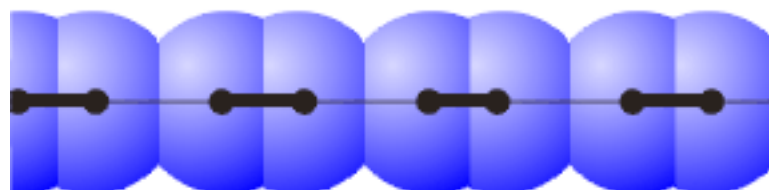
中性状態

電荷移動状態

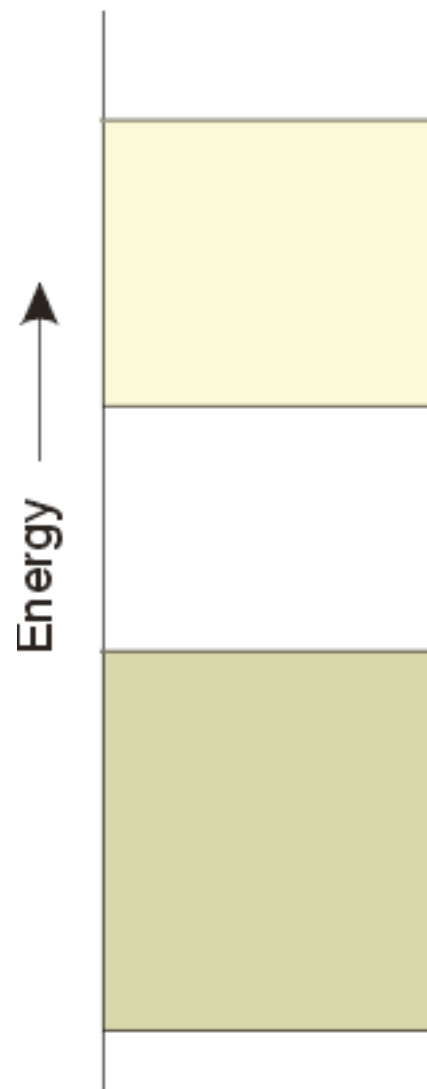




(a)



(b)



物質の磁化機構

$$M = \chi H$$

$$\chi = N \mu^2 / 3 k_B T$$

$$\mu^2 = g^2 J (J + 1) \mu_B^2$$

μ_B : 電子の磁子 (磁気モーメントの量子力学的単位)
 9.274×10^{-21} erg/G

$$\chi = C / T \quad C = 0.375 \quad (S = 1 / 2)$$

g 因子 : $\Delta E = g \mu_B H$

k_B : ボルツマン定数 (1.38041×10^{-16} erg/K)

常磁性（不対電子）

反磁性（電子対）

完全反磁性（クーパー対、マイスナー効果）

強磁性（キュリー温度）

反強磁性（ネール温度、磁気異方性）

フェリ磁性

反強磁性になる理由

電子雲の重なり効果

強磁性になる理由

フント則、ヒステリシス

超交換相互作用

90° パス、 180° パス

二重交換相互作用

Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Fe_3O_4

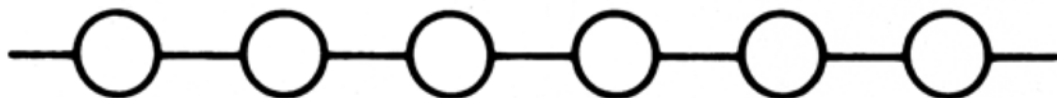
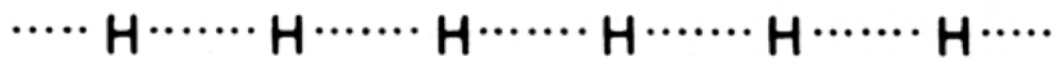
スピנקロスオーバー錯体

金属の常磁性（パウリ常磁性）

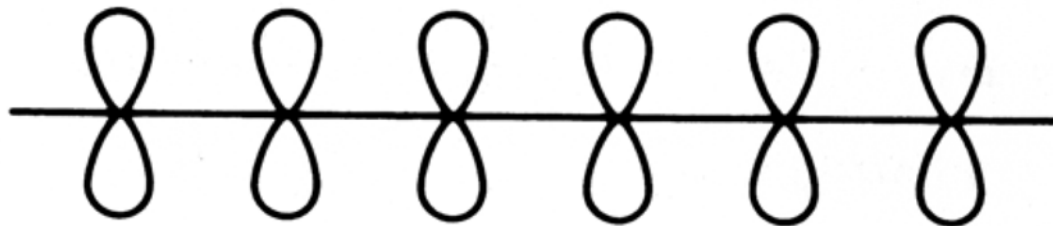
スピン数： $2 \mu_B H D(E_F)$

1 モル磁化： $2 N \mu_B^2 H D(E_F)$

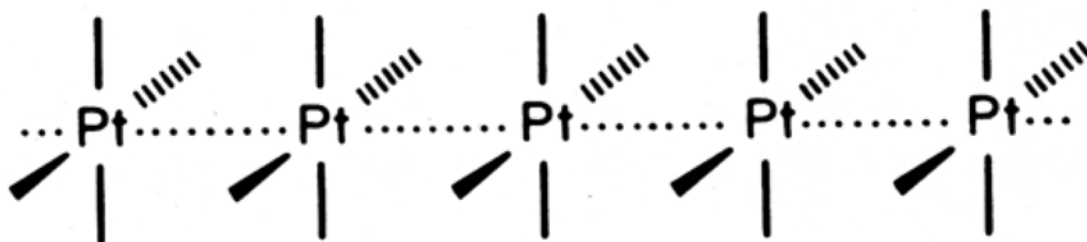
バンド強磁性： $N i$

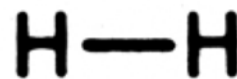


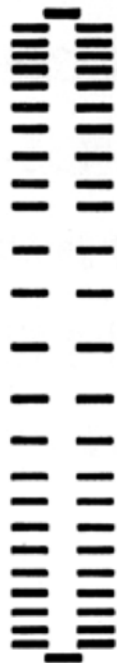
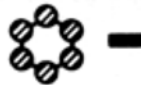
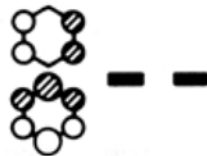
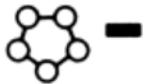
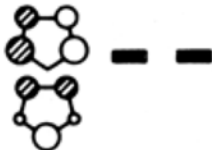
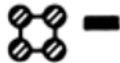
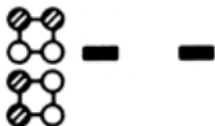
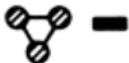
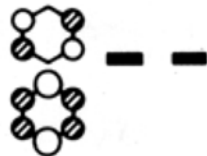
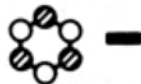
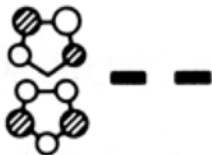
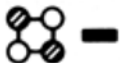
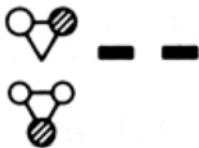
1

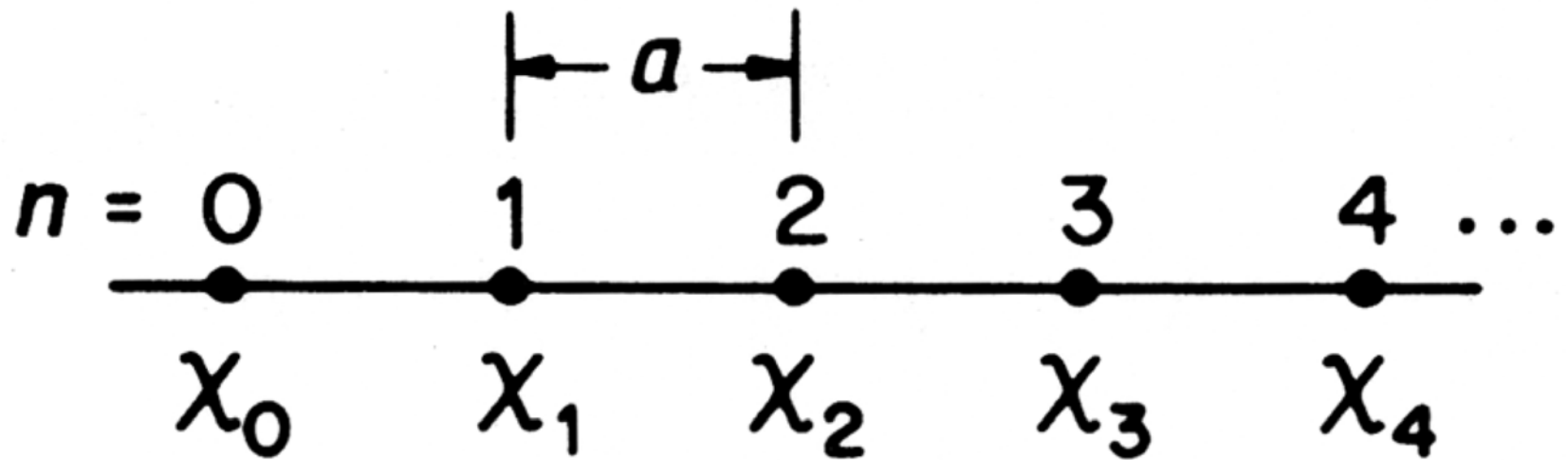


2



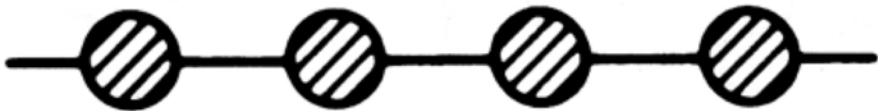




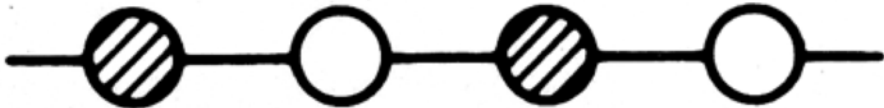


$$\psi_k = \sum_n e^{i k n a} \chi_n$$

$$k=0 \quad \psi_0 = \sum_n e^0 \chi_n = \sum_n \chi_n$$

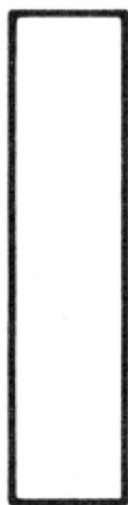
$$= \chi_0 + \chi_1 + \chi_2 + \chi_3 + \dots$$


$$k=\frac{\pi}{a} \quad \psi_{\frac{\pi}{a}} = \sum_n e^{\pi i n} \chi_n = \sum_n (-1)^n \chi_n$$

$$= \chi_0 - \chi_1 + \chi_2 - \chi_3 + \dots$$


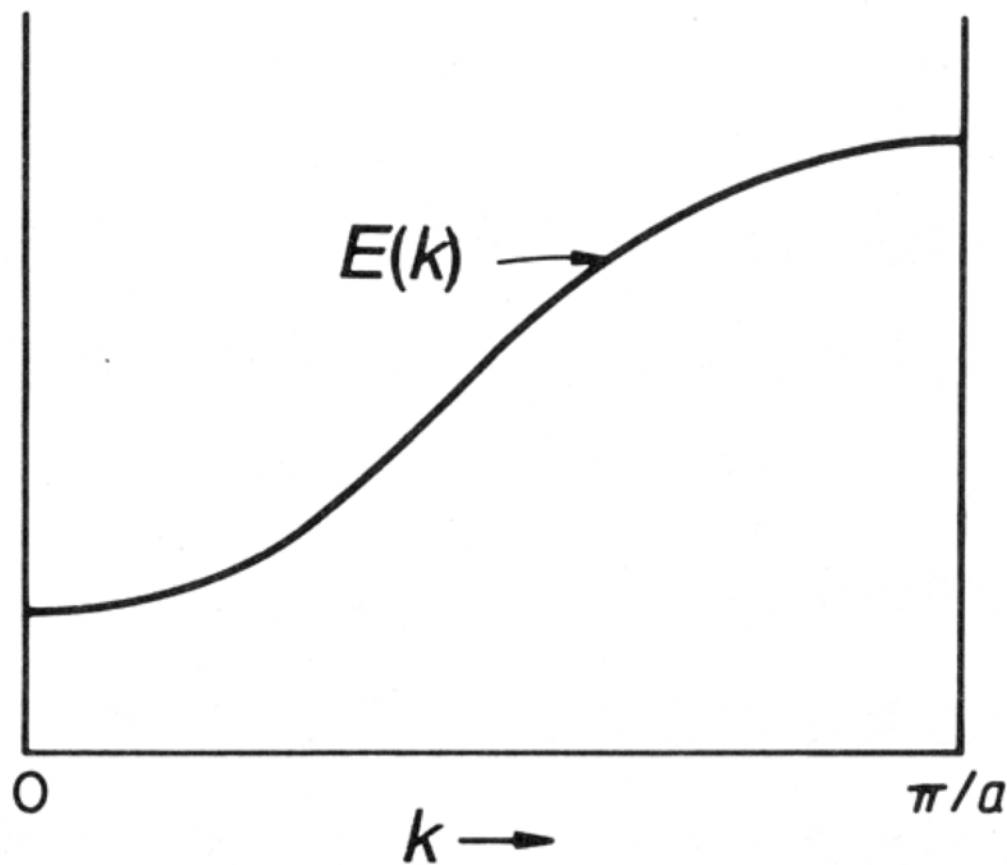


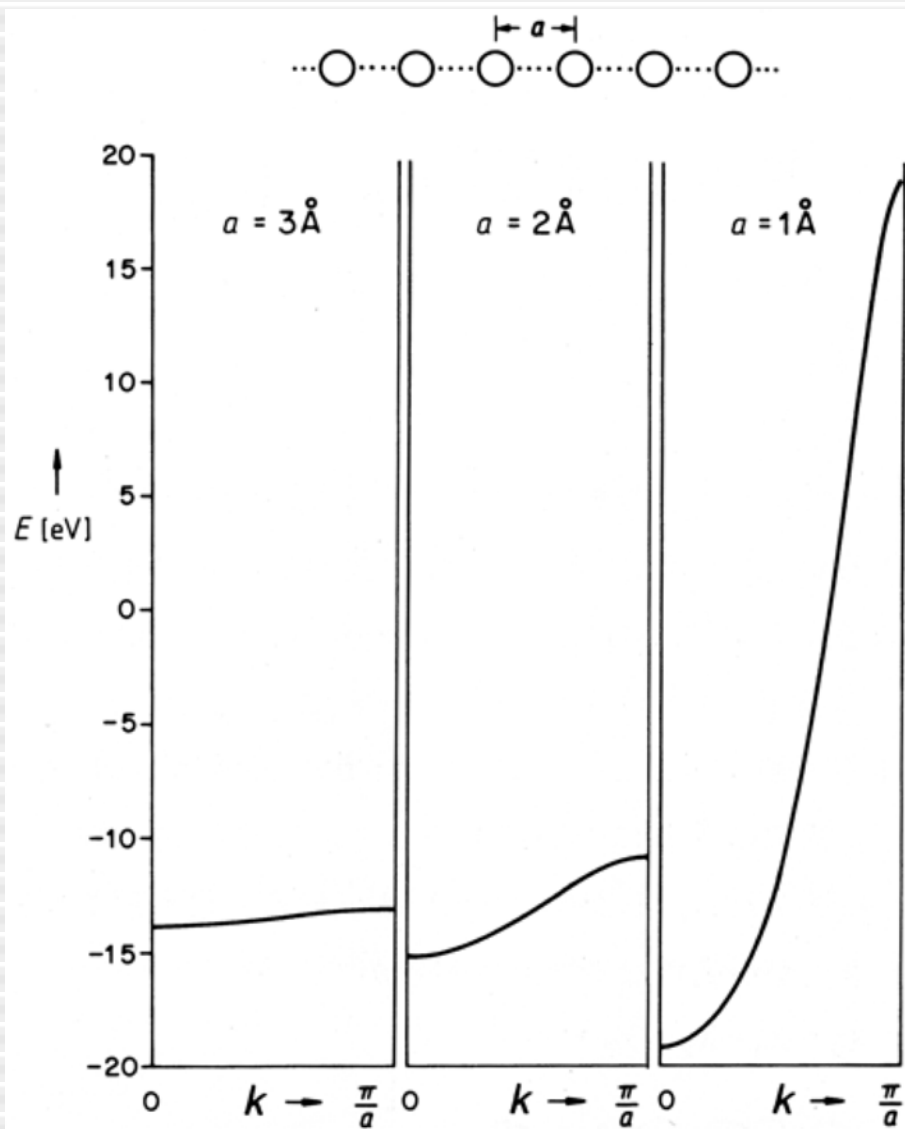
$\equiv$



$\equiv$

$\uparrow$
 E



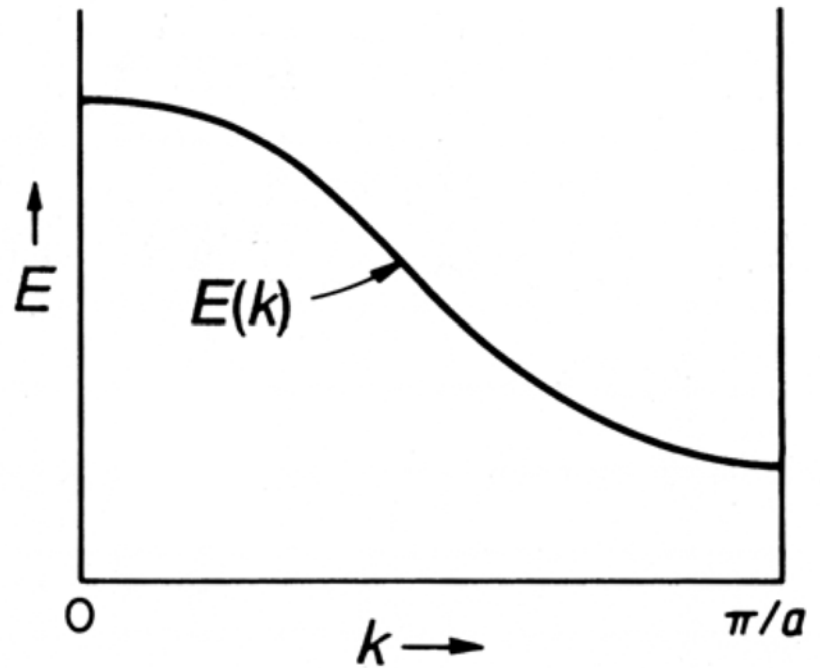
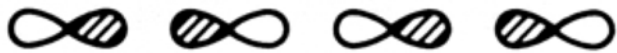


原子間距離 $a=3, 2, 1 \text{ \AA}$ としたときの水素原子鎖のバンド構造。孤立水素原子のエネルギーは -13.6 eV である。

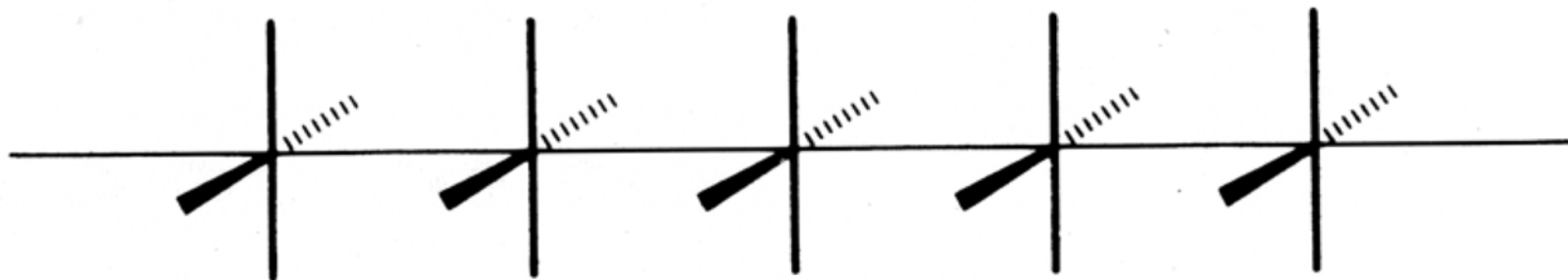
$$\psi_0 = \chi_0 + \chi_1 + \chi_2 + \chi_3 + \dots$$



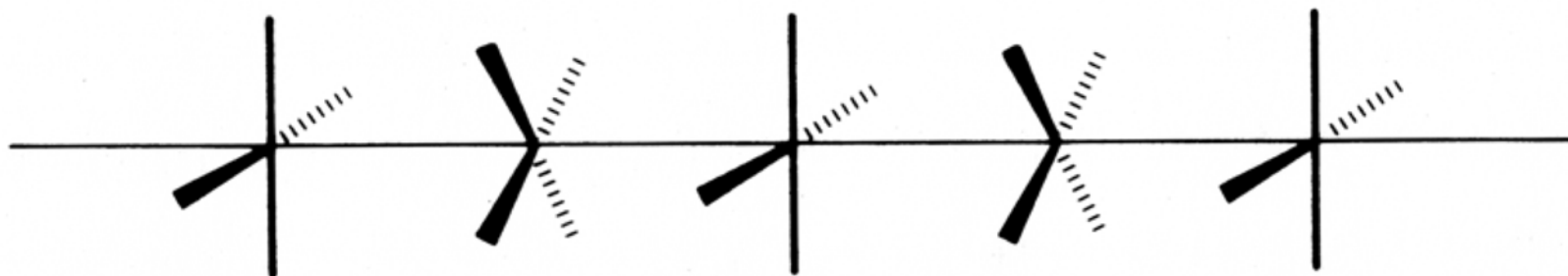
$$\psi_{\frac{\pi}{a}} = \chi_0 - \chi_1 + \chi_2 - \chi_3 + \dots$$

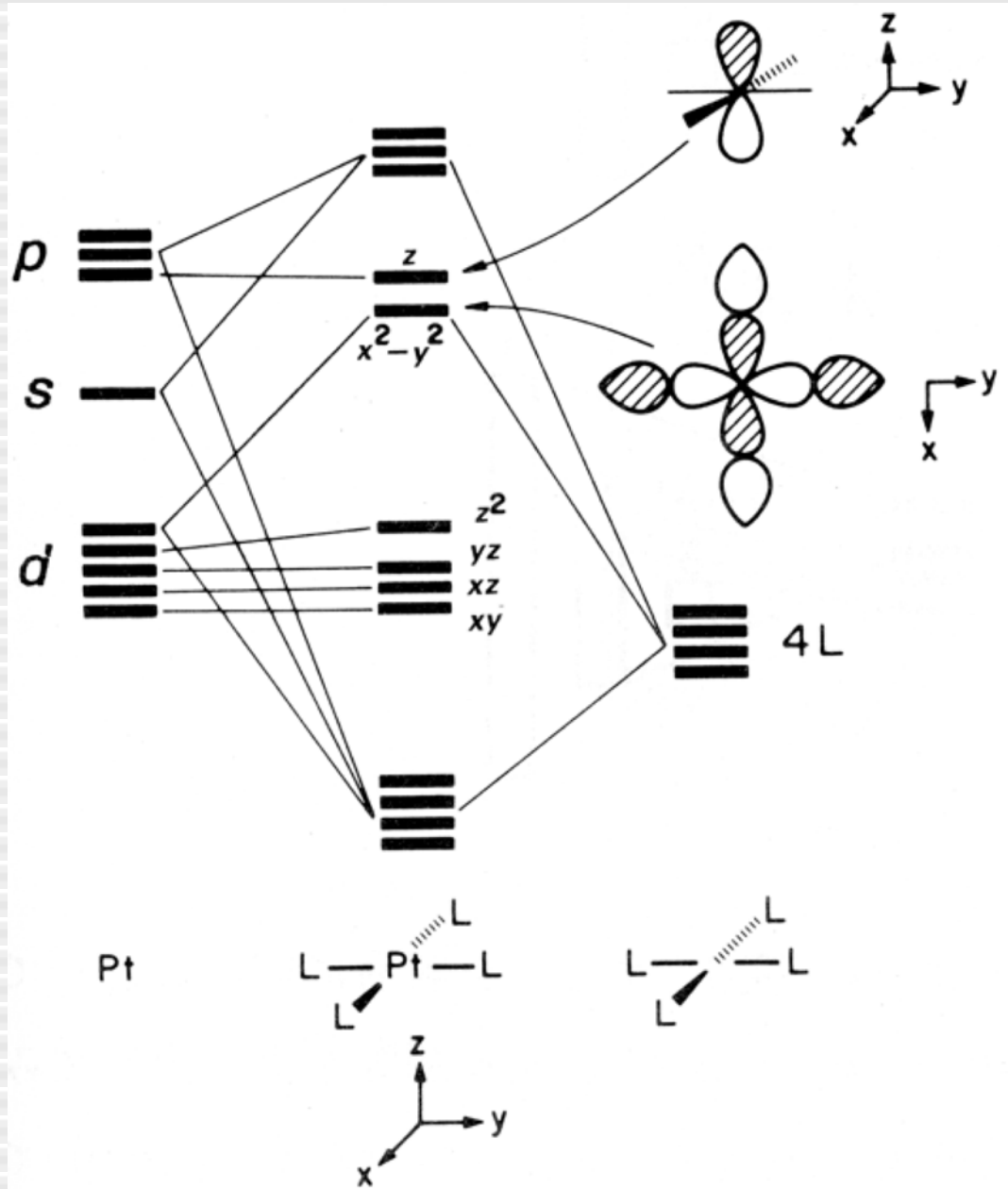


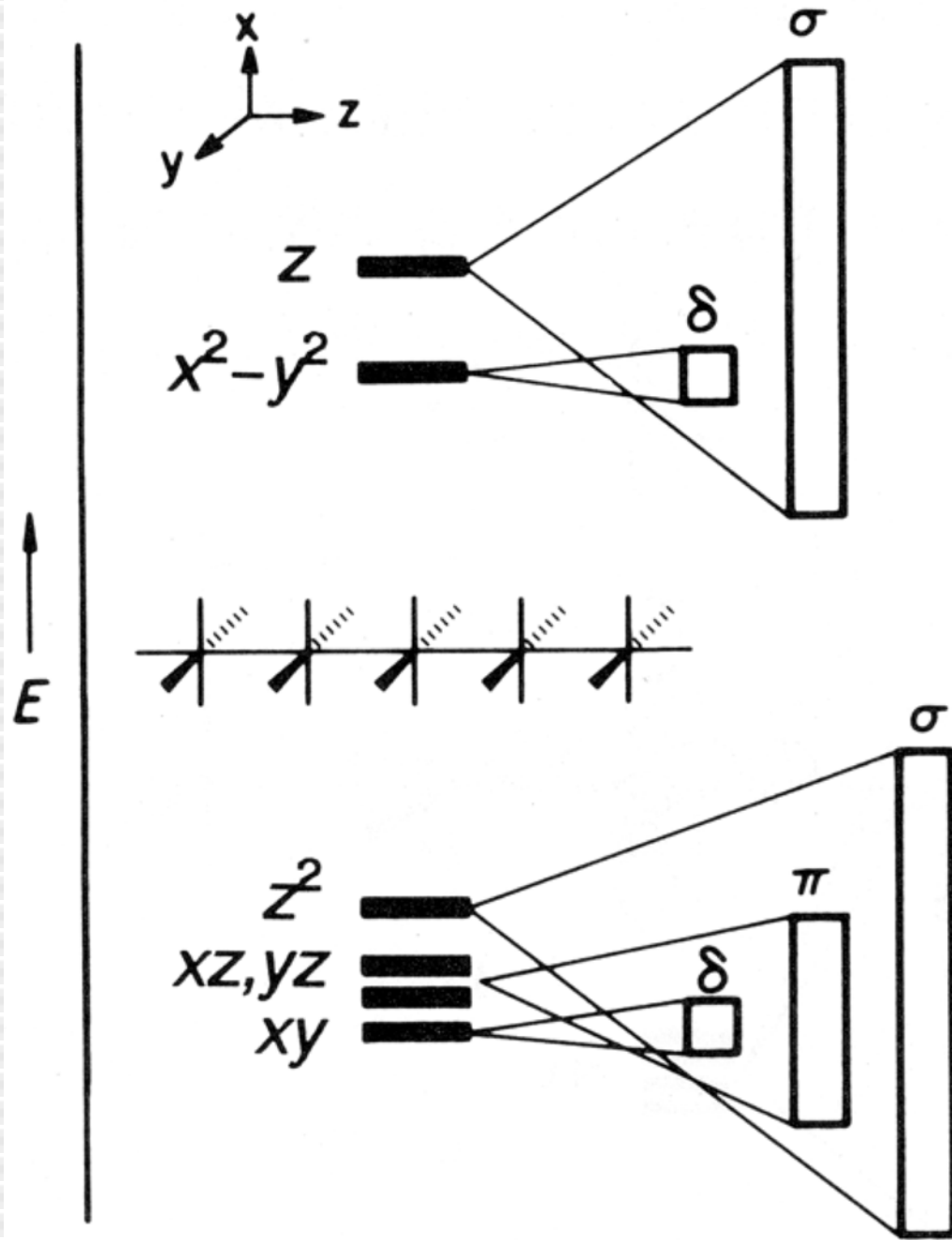
$\longleftrightarrow a \longleftrightarrow$

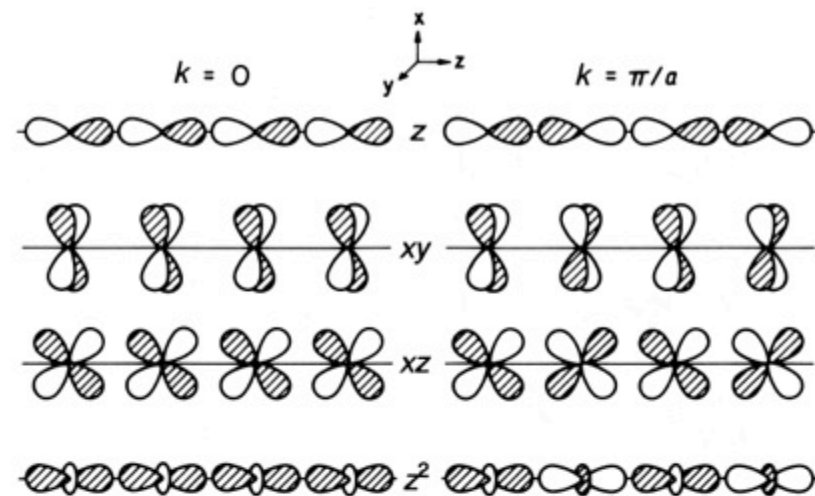


$\longleftrightarrow 2a \longleftrightarrow$

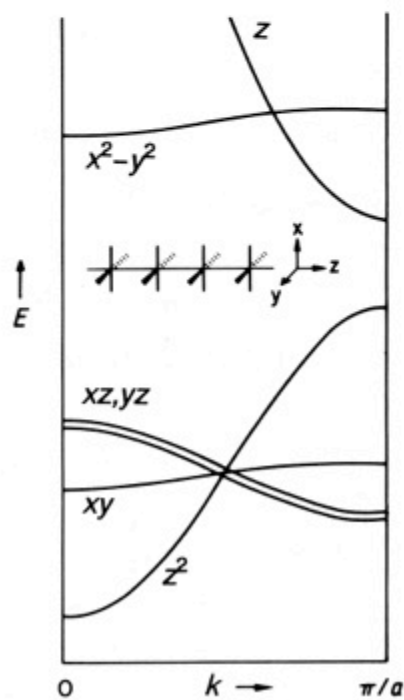


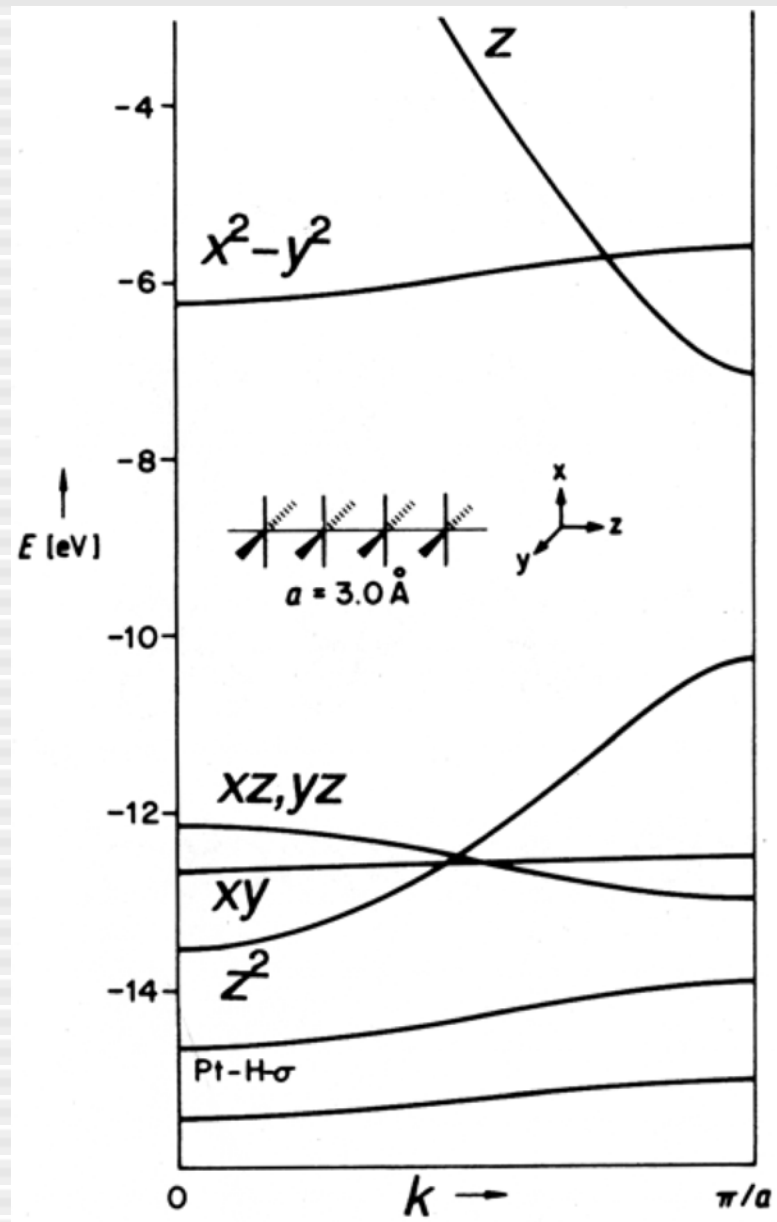


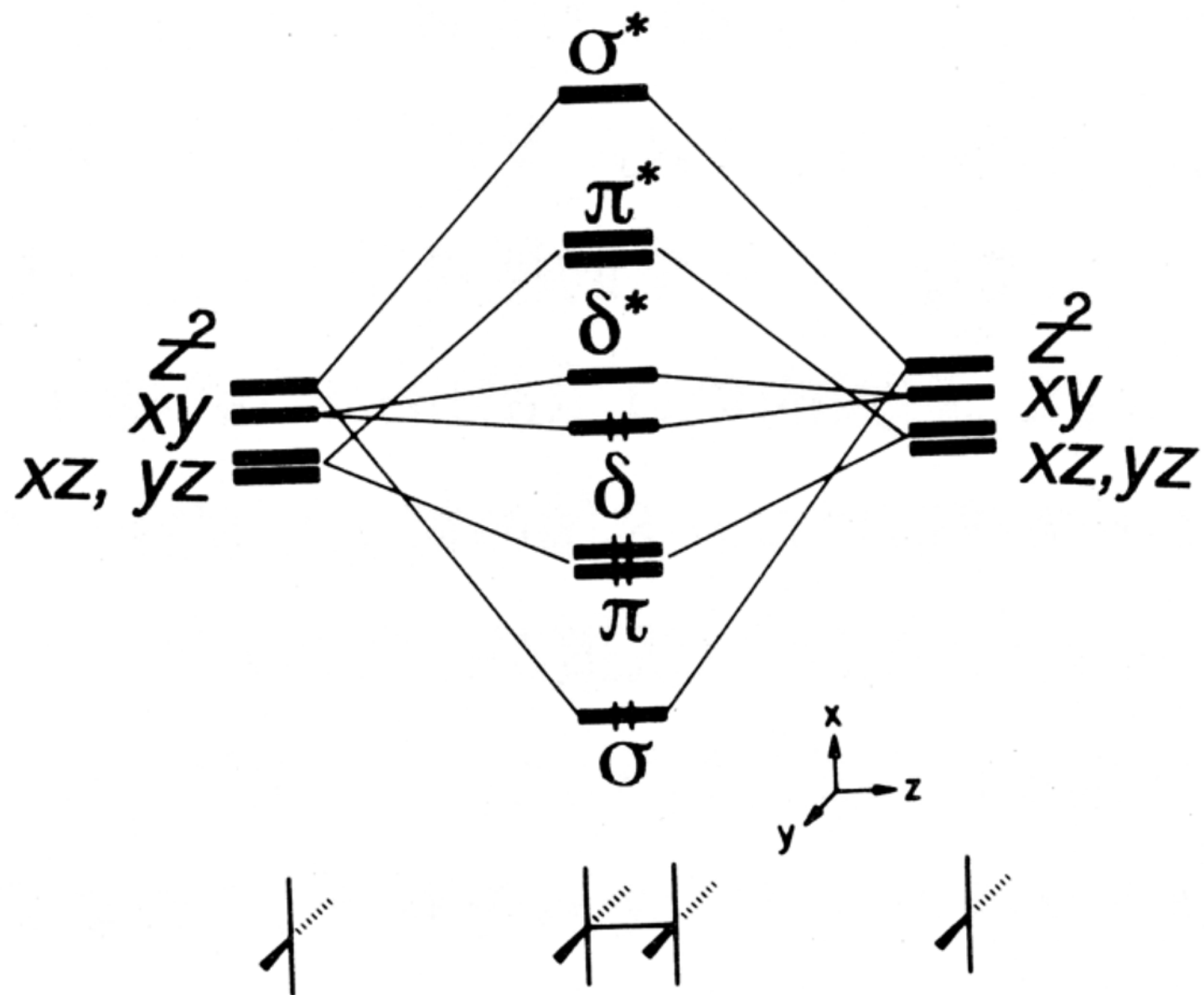




15

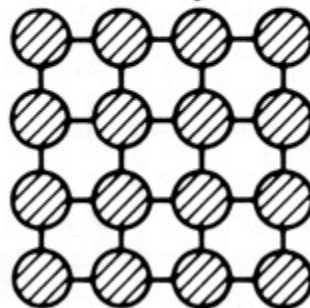




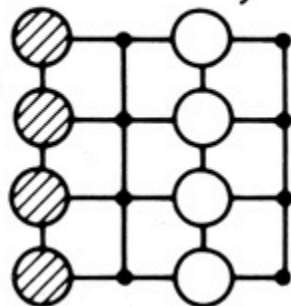


Γ

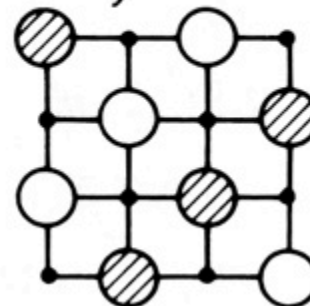
$$k_x=0, k_y=0$$



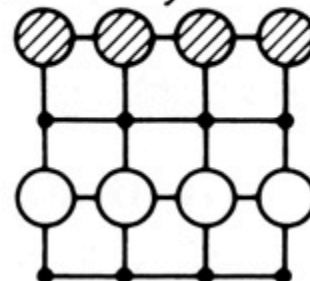
$$k_x=\pi/(2a), k_y=0$$



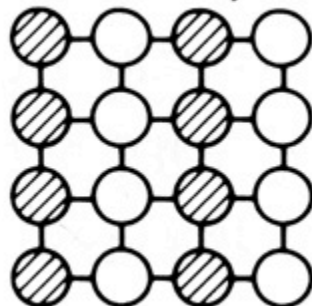
$$k_x, k_y = \pi/(2a)$$



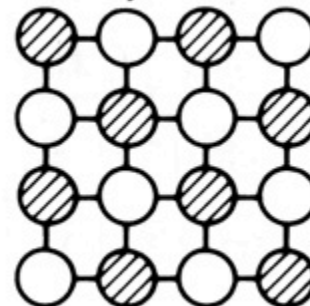
$$k_x=0, k_y=\pi/(2a)$$



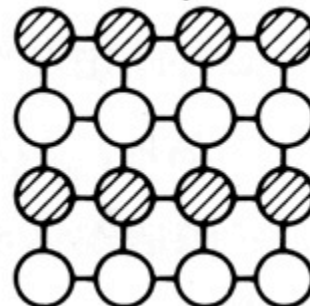
$$k_x=\pi/a, k_y=0$$



$$k_x, k_y = \pi/a$$



$$k_x=0, k_y=\pi/a$$

 X M X

